



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Daniela Sofia Vieira da Silva

Processo Tecnológico de Produção do Cartão

Contribuições Estatísticas

Relatório de Estágio

Orientado por:

Doutora Isabel Nogueira, Instituto Politécnico de Tomar

Engenheiro Antunes Rosa, Prado Karton

Relatório de Estágio apresentado ao Instituto Politécnico de Tomar
para cumprimento dos requisitos necessários
à obtenção do grau de Mestre
em Tecnologia Química

Dedico este trabalho aos meus pais,
ao meu namorado, à minha “filha” e
a todos os meus verdadeiros amigos.

RESUMO

O Relatório de Estágio que se segue, encontra-se inserido no Trabalho Final de Mestrado em Tecnologia Química, tendo sido realizado na empresa Prado Karton – Companhia de Cartão, S.A., mais especificamente no seu laboratório de análises físico-químicas, onde são realizados os mais diversos testes à aptidão do cartão de forma a obter-se um produto final de qualidade e excelência.

No entanto, a fim de compreender todo o funcionamento da fábrica em questão, foi realizado um acompanhamento completo desde a aquisição da matéria-prima até à expedição do produto final, o qual é descrito no corpo deste relatório.

Tendo em conta que a Indústria Papeleira é um dos sectores mais importantes para a economia nacional e mundial, tornou-se evidente a necessidade de o analisar em mais pormenor, de forma a quantificar e a relacionar os valores referentes à produção e exportação de papel e cartão com anos anteriores, de modo a perceber a tendência futura dos mercados, que apesar de tudo se avizinha promissor.

De forma a estabelecer as características exigidas e controlar a qualidade dos vários tipos de cartão fabricados realizam-se várias análises ao produto final, tendo sido executadas no decurso do referido estágio e, portanto, descritas as suas metodologias.

Os resultados experimentais obtidos relativamente à determinação da rigidez foram objeto de uma análise estatística, utilizando o *software* SPSS, para três tipos diferentes de cartão. Através do auxílio de cartas de controlo estudou-se o comportamento da rigidez, ao longo do tempo, verificando-se alguns comportamentos que violam as regras. No entanto, verificou-se que em todos os tipos de cartão estudados, estes apresentam uma tendência notória de um aumento da rigidez ao longo do tempo.

Palavras-chave: Cartão; Processo de Fabrico; Métodos de Ensaio; Cartas de Controlo de Qualidade; Rigidez.

ABSTRACT

The following report was based in a traineeship that makes part of the Final Project of the Master's Degree in Chemical Technology and has been carried out in the Prado Karton – Paperboard Company, S.A., specifically in physical and chemical laboratory analysis, where several tests are made on the ability of paperboard to obtain a high-quality product.

However, in order to understand the overall operation of the company in question, a complete monitoring was conducted from procurement of raw materials to shipping the final product, which is described in this report.

The Pulp and Paper Industry is one of the most important sectors for national and international economy, it became evident the need to analyze in more detail in order to quantify and relate the amounts related of production and exportation of paper and paperboard with previous years, in order to understand the future trend of the markets that ahead promising.

Considering that Pulp and Paper industry is one of the most important sectors of national and world economy, it became clear that it is necessary to make a detailed analysis that includes quantification and comparison between current figures for paper production and exportation with the ones from previous years in order to understand the future trends of the markets which, nevertheless, seem to be promising.

In order to establish the required characteristics and quality control of various types of paperboard several tests have been made on the final product, these tests have been carried out during the internship period and hence the description of employed methodologies.

The experimental results concerning the determination of stiffness were subject to statistical analysis using the SPSS software for three different types of paperboards. With the aid of quality control charts we studied the behavior of stiffness over time, where infringement of some rules has been observed. Nevertheless, all the paperboards examined showed a clear tendency to stiffness over time

Keywords: Paperboard; Papermaking; Test Methods; Quality Control Charts; Stiffness.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Politécnico de Tomar, mais propriamente ao antigo Departamento de Engenharia Química e do Ambiente, constituído por professores e funcionários incansáveis que sempre me auxiliaram em todas as dificuldades que durante estes anos surgiram no meu percurso académico. Entre eles gostaria de realçar a Doutora Cecília Baptista, sempre disponível em todos os momentos.

Naturalmente, um agradecimento especial à minha orientadora, a Doutora Isabel Nogueira por todo o esforço e dedicação para a concretização deste documento, pela paciência nas horas mais sombrias e, claro, pela partilha de conhecimentos e tempo disponibilizado, pois, sem dúvida que sem eles o caminho seria muito mais tortuoso. Um especial agradecimento ao Doutor Luís Grilo, que me ajudou a enriquecer este documento permitindo uma análise estatística útil aos dados experimentais recolhidos durante o Estágio.

Quero apresentar a minha gratidão, à empresa que me acolheu para o estágio curricular, que me levou à realização deste relatório, a Prado Karton – Companhia de Cartão, S.A, contribuindo para o meu crescimento a nível profissional e pessoal, onde pude alargar o meu conhecimento e pôr em prática algumas ferramentas académicas adquiridas. Agradeço, em particular ao seu Diretor Industrial, o Engenheiro Antunes Rosa, pela disponibilidade cedida em estagiar na empresa e, assim, me proporcionar a oportunidade de contacto com a indústria pela primeira vez. À Doutora Rute Marino, ao Engenheiro Cardoso, e sobretudo, à Doutora Ana Gois, pela calorosa receção, pelo tempo despendido, assim como, a partilha dos seus conhecimentos, a autonomia concedida, a persistência na minha evolução e todos os momentos partilhados. Carinhosamente ao Jorge Silva, Arlindo Maduro, Paulo Silva, Rui Figueira, Fernando Cabeleira, Hugo Pires, Diogo Silveiro e Emília Henriques por me fazerem sentir parte desta família.

Por último, mas não menos importante, agradeço incondicionalmente aos meus pais e ao meu namorado pela dedicação e incentivo que me foi confiado, pelo amparo nos momentos mais tenebrosos e acima de tudo por acreditarem veemente nas minhas capacidades sem quaisquer hesitações. Um agradecimento diferente, mas não menos importante, à Mia, pelas longas horas que passou junto a mim sem nenhum queixume, apenas pelo simples prazer do meu colo.

Índice

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
AGRADECIMENTOS	xi
Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas	xvii
Introdução	1
1. Fundamentação.....	3
1.1. Introdução ao Sector Papeleiro Português.....	3
1.2. Prado Karton – Companhia de Cartão, S.A.....	4
1.2.1. História da Empresa	4
1.2.2. Organização da Empresa	9
1.2.3. Certificação	10
1.2.3.1. Qualidade	10
1.2.3.2. Ambiente.....	10
1.2.4. Política de Gestão Integrada.....	11
2. Produção de Cartão – O Processo Tecnológico	13
2.1. História do Papel	14
2.2. Madeira	17
2.2.1. Estrutura da Madeira	23
2.2.2. Ultra-estrutura da Madeira	26
2.2.3. Composição Química da Madeira	31
2.3. Obtenção da Pasta	37
2.3.1. Processos Mecânicos.....	38
2.3.2. Processos Químicos	40
2.3.3. Processos Semi-Químicos	43
2.4. Branqueamento da Pasta	44
2.5. Processo de Fabrico.....	46
2.5.1. Desintegração	48
2.5.2. Refinação	49
2.5.3. Crivagem e Depuração	51
2.5.4. Formação da Folha	53
2.5.5. Prensagem	54
2.5.6. Secagem	56
2.5.7. Calandragem	59
2.5.8. Enrolamento	60
2.5.9. Bobinagem	62
2.5.10. Corte.....	63

3.	Estudo do Mercado	67
3.1.	Enquadramento Macroeconómico Português	67
3.2.	O Sector Industrial Português	70
3.2.1.	Sector da Pasta e do Papel	72
3.2.1.1.	Pasta para papel	74
3.2.1.2.	Papel e Cartão	77
3.2.1.3.	Papel para Reciclar	80
3.2.1.4.	Indicadores Ambientais	83
3.2.1.5.	Indicadores Energéticos	84
3.3.	O Sector da Pasta e Papel no Mundo	85
3.3.1.	Pastas para Papel	86
3.3.2.	Papel e Cartão	86
3.3.3.	Papel para Reciclar	87
4.	Metodologia	89
4.1.	Procedimento Experimental	89
4.1.1.	Determinação da Gramagem	91
4.1.2.	Determinação da Espessura	92
4.1.3.	Determinação da Rigidez Taber	93
4.1.4.	Determinação da Absorção de Água (Método Cobb)	94
4.1.7.	Determinação do Brilho	99
4.1.8.	Determinação da Brancura	100
4.1.9.	Determinação do Teor de Humidade	102
4.1.10.	Determinação do Teor de Cinzas	103
4.1.13.	Determinação da Resistência às Gorduras	108
5.	Análise Estatística	109
5.1.	Análise Descritiva	109
5.1.1.	Rigidez SPM	110
5.1.2.	Rigidez SPM-F	113
5.1.3.	Rigidez SPP	115
5.2.	Análise Inferencial	118
5.2.1.	Teste de <i>Shapiro-Wilk</i>	118
5.2.2.	Cartas de Controlo de Qualidade	119
6.	Considerações Finais	133
7.	Referências Bibliográficas	135
	Anexos	137
	Anexo 1: Tipos de cartões produzidos	139
	Anexo 2: Dados obtidos na medição da rigidez	141

Índice de Figuras

Figura 1 – Antiga Fábrica da Prado, a CPP (em cima) e as atuais instalações, PK (em baixo).....	8
Figura 2 – Alvará passado por Sebastião José de Carvalho e Melo, Marquês de Pombal, para a criação da Fábrica de Papel do Prado, em 1772.....	8
Figura 3 – Organograma da Prado Karton.....	9
Figura 4 – Sequência das operações de fabrico de papel a partir de fibra virgem.....	13
Figura 5 – Fabrico do papiro	14
Figura 6 – Fabrico manual de papel.	15
Figura 7 – Evolução do papel: papiro (esquerda); pergaminho (meio); papel (direita).	16
Figura 8 – A rota do papel até chegar à Europa.....	16
Figura 9 – Algumas Coníferas.....	18
Figura 10 – Corte tansversal do lenho de uma Resinosa	19
Figura 11 – Algumas espécies de Folhosas	20
Figura 12 – Corte transversal de uma Folhosa	21
Figura 13 – Secção transversal do tronco de uma árvore.	24
Figura 14 – Anéis de crescimento associados às diferentes estações do ano.....	25
Figura 15 – Estrutura de uma fibra celulósica.	27
Figura 16 – Representação esquemática da parede de uma fibra	27
Figura 17 – Compostos Macromoleculares da Madeira.	31
Figura 18 – Estrutura da molécula de celulose e da sua unidade representativa (celobiose).....	33
Figura 19 – Representação das ligações de hidrogénio na celulose.	34
Figura 20 – Representação esquemática da hemicelulose.	35
Figura 21 – Fórmula geral de uma unidade derivada do fenilpropano e ligações prováveis entre unidades...	37
Figura 22 – Imagem ilustrativa de um processo termomecânico.	39
Figura 23 – Diferença entre a celulose submetida a um processo mecânico (à esquerda) e a um processo químico (à direita).....	40
Figura 24 – Resultado da separação das fibras num processo mecânico (à esquerda), num processo químico- termo mecânico (ao centro) e num processo químico-mecânico (à direita).....	43
Figura 25 – Exemplo dum processo de branqueamento da celulose.	45
Figura 26 – Diagrama de Blocos do Fabrico de Cartão Multiplex.	47
Figura 27 – Exemplo de um pulper.	48
Figura 28 – Refinador de discos duplos.	51
Figura 29 – Formação da folha numa máquina de formas redondas (Prado Karton).	54
Figura 30 – Secção de prensagem da Prado Karton.	55
Figura 31 – Secção de secagem da Prado Karton.	57
Figura 32 – Friccionador Yankee da Prado Karton.	58
Figura 33 – Enrolamento, bobina de fim de máquina (Prado Karton).....	60
Figura 34 – Bobinadora Convencional da Prado Karton.	62
Figura 35 – Cortadeira Simplex da Prado Karton.	64
Figura 36 – Gráfico da taxa de crescimento anual do PIB, em percentagem.	68
Figura 37 – Gráfico da Taxa de desemprego.....	69
Figura 38 – Gráfico indicador de confiança dos consumidores.....	70
Figura 39 – Produção Industrial	71
Figura 40 – Gráfico Indicador de confiança na indústria.	72
Figura 41 – Gráfico dos principais saldos por grupos de produtos (Comércio Internacional de Bens).....	74

Figura 42 – Evolução da produção de pasta entre os anos de 2003 e 2013.....	75
Figura 43 – Produção total de pasta de papel para reciclar.	76
Figura 44 – Vendas de Pasta por Mercado em 2013.....	76
Figura 45 – Importações de Pastas para Papel por Tipo em 2013.....	77
Figura 46 – Evolução da Produção de Papel por tipos ao longo dos anos.	78
Figura 47 – Vendas de Papel e Cartão por Mercado em 2013	79
Figura 48 – Importações de Papel e Cartão de 2013.	80
Figura 49 – Evolução das Taxas de Recuperação, Utilização e Reciclagem de papel.	81
Figura 50 – Exportações de Papel para Reciclar referentes a 2013.....	82
Figura 51 – Importações de Papel para Reciclar relativas a 2013.....	82
Figura 52 – Rigidímetro Taber. Fonte: Riteca	93
Figura 53 – Aparelho para o destacamento entre camadas da Prado Karton.	97
Figura 54 – Aparelho Bendtsen da Prado Karton.....	98
Figura 55 – Aparelho Photovolt da Prado Karton.	100
Figura 56 – Espectrofotómetro da Prado Karton.....	101
Figura 57 – Incinerador da Prado Karton.	103
Figura 58 – Aparelho de IGT da Prado Karton.	106
Figura 59 – Uso dos rolos distribuidores para a determinação do brilho de impressão.	107
Figura 60 – Histograma da rigidez do SPM para a direção longitudinal.....	112
Figura 61 – Histograma da rigidez do SPM para a direção transversal.....	112
Figura 62 – Histograma da rigidez do SPM-F para a direção longitudinal.	114
Figura 63 – Histograma da rigidez do SPM-F para a direção transversal.	115
Figura 64 – Histograma da rigidez do SPP para a direção longitudinal.	117
Figura 65 – Histograma da rigidez do SPP para a direção transversal.	117
Figura 66 – Carta de controlo de qualidade de valores individuais da rigidez do SPM para a direção longitudinal.	123
Figura 67 – Carta da amplitude móvel para a rigidez do SPM na direção longitudinal.	123
Figura 68 – Carta de controlo de qualidade de valores individuais da rigidez do SPM para a direção transversal.	124
Figura 69 – Carta da amplitude móvel para a rigidez do SPM na direção transversal.	124
Figura 70 – Carta de controlo de qualidade de valores individuais da rigidez do SPM-F para a direção longitudinal.	125
Figura 71 – Carta da amplitude móvel para a rigidez do SPM-F na direção longitudinal.	126
Figura 72 – Carta de controlo de qualidade de valores individuais da rigidez do SPM-F para a direção transversal.	127
Figura 73 – Carta da amplitude móvel para a rigidez do SPM-F na direção transversal.	127
Figura 74 – Carta de controlo de qualidade de valores individuais da rigidez do SPP para a direção longitudinal.	128
Figura 75 – Carta da amplitude móvel para a rigidez do SPP na direção longitudinal.	129
Figura 76 – Carta de controlo de qualidade de valores individuais da rigidez do SPP para a direção transversal.	130
Figura 77 – Carta da amplitude móvel para a rigidez do SPP na direção transversal.	130

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Composição química média de folhosas e resinosas, em percentagem ponderal (base seca).	32
Tabela 2 – Projeções do PIB e Principais Componentes da Despesa Agregada (Taxa variação anual em %).	68
Tabela 3 – Comércio Internacional de Bens: Saldo da Balança Comercial por Grupo de Produtos, em Milhares de Euros.	73
Tabela 4 – Tempos de ensaio	95
Tabela 5 – Medidas descritivas da rigidez do papel SPM para as duas direções.	111
Tabela 6 – Medidas descritivas da rigidez do papel SPM-F para as duas direções.	114
Tabela 7 – Medidas descritivas da rigidez do papel SPM-F para as duas direções.	116
Tabela 8 – Teste de <i>Shapiro-Wilk</i> para a rigidez dos três tipos de papel (SPM, SPM-F e SPP).	119
Tabela 9 – Valores dos Limites de Especificação (gf.cm) para os três tipos de cartão (SPM, SPM-F e SPP).	121

Introdução

O relatório que se segue é referente ao estágio curricular realizado na empresa Prado Karton – Companhia de Cartão, S.A., no âmbito do trabalho final de Mestrado em Tecnologia Química, o qual teve a duração de seis meses.

Com o intuito de aquisição de uma visão global de toda a atividade desenvolvida na empresa, o estágio em questão foi repartido pelas principais áreas relacionadas com a indústria, sendo elas: ambiente e segurança, processo produtivo, acabamentos e logística e manutenção e energia. O estágio em questão realizou-se maioritariamente no laboratório de análises físico-químicas da empresa, onde um dos principais objetivos é garantir a conformidade dos produtos desde a receção da matéria-prima até ao produto acabado, através de análises realizadas de acordo com métodos regulamentados.

O presente documento tem como objetivo principal a caracterização de todo o processo tecnológico de produção de cartão, desde a aquisição da matéria-prima, processo produtivo, até à conceção do produto final. Para complementar o trabalho desenvolvido será feito um estudo estatístico a fim de analisar e interpretar os dados recolhidos através dos ensaios realizados ao longo do tempo em que decorreu o referido estágio.

Assim, o atual relatório divide-se em seis capítulos. O capítulo 1 será dedicado à apresentação da empresa Prado Karton, onde a sua história secular será detalhada, assim como, os órgãos que a constituem e as suas certificações. No capítulo 2 é feita uma descrição global onde o processo de produção de cartão da empresa é explicado no seu todo, desde a matéria-prima, a pasta, até à obtenção do produto final acabado, o cartão. O capítulo 3 é dedicado ao estudo do mercado nacional e internacional da produção e consumo de papel/cartão, assim como, aos valores apurados para a situação energética e ambiental que a indústria papelreira acarreta. No capítulo 4 são descritas as técnicas utilizadas nos ensaios de controlo de qualidade do cartão durante o estágio. No capítulo 5 é apresentado uma breve análise estatística referente à variável rigidez, pertencente a três tipos de cartão diferentes. Por fim, no capítulo 6 são feitas as considerações e conclusões finais do trabalho desenvolvido.

1. Fundamentação

1.1. Introdução ao Sector Papeleiro Português

No sentido de substituir as importações e assegurar o abastecimento do mercado nacional de papel, o sector da pasta e papel acabou, face aos níveis de qualidade atingidos, por conseguir posições importantes no mercado externo, tornando-se um dos sectores mais importantes da nossa estrutura de exportações e do nosso posicionamento no campo da especialização internacional. Assim, o sector papeleiro português é detentor de um peso significativo para a economia do país, detentor de elevados rendimentos e de um volume de emprego bastante considerável (Alves, 2000).

O crescimento exponencial do uso das novas tecnologias de informação e comunicação e a crise económica sentida a nível internacional nos últimos anos poderiam pôr em causa a importância do sector papeleiro. Porém, ao contrário do esperado, a era digital levou ao surgimento de uma nova segmentação de mercado, nomeadamente os papéis de escritório. Além disso, as previsões são que o consumo mundial de papel e cartão cresçam a um ritmo constante nos próximos anos, destacando-se a Ásia, especialmente a China e a Índia, o Brasil e a Rússia, que contribuirão significativamente para o consumo global de papel e cartão (Gouveia, 2001) (Silva C. F., 2005).

No entanto, o sector português da pasta e papel integra algumas das unidades industriais mais competitivas da Europa, de uma enorme complexidade tecnológica, em permanente esforço de modernização ao nível dos equipamentos, dos processos, do controlo de produção e da qualidade, com elevado grau de automatização e mão-de-obra qualificada. Trata-se de um sector verdadeiramente nacional, baseado na transformação de uma matéria-prima, natural e renovável, a madeira, produzida em florestas geridas especificamente para esse efeito. Os produtos papeleiros são, também, naturais, renováveis, recicláveis, reutilizáveis e biodegradáveis (Mikhnya, 2011).

1.2. Prado Karton – Companhia de Cartão, S.A.

A Prado Karton (PK) é uma empresa de fabrico de papel, mais propriamente de cartões plano de embalagem e similares, designados por cartões multiplex, localiza-se na margem direita do rio Nabão, nos arredores de Tomar, mais precisamente na freguesia da Pedreira, ocupando uma área total de cerca de 12 ha. Apesar de possuir uma história que nos remonta ao tempo em que Portugal ainda era dirigido por uma monarquia, a empresa Prado Karton em si foi criada apenas em 2002, resultado da cisão da Companhia de Papel do Prado, SARL (CPP). Dada a sua recente criação, o histórico que se segue é referente à CPP, empresa que lhe deu origem, representada na Figura 1, sendo por isso considerada a empresa mais antiga do país em funcionamento (Prado Karton).

1.2.1. História da Empresa

A Companhia do Papel do Prado foi constituída em 1875, por escritura pública, ampliada por outra em 1889, consistindo na junção da Fábrica de Papel do Penedo, na Lousã, com a Fábrica de Papel do Prado, nos arredores de Tomar. Outras pequenas unidades fabris, nomeadamente a de Vale Maior (nos arredores de Albergaria-a-Velha) e a de Marianaia (nos arredores de Tomar), foram posteriormente associadas, no entanto, acabaram por ser desativadas por volta dos anos 60.

A Fábrica de Papel do Penedo foi fundada em 1716, durante o reinado de D. João V, só mais tarde, já sob a égide de D. José I e por alvará passado pelo Marquês de Pombal foi criada a Fábrica de Papel do Prado, a 2 de Julho de 1772, no início da era industrial, como ilustra a Figura 2.

A CPP começou por se dedicar à produção de papéis especiais, entre os quais se incluíam os papéis com usos fiduciários, ou seja, documentos sem nenhum valor intrínseco, onde imperava a confiança, como o papel selado, o papel de letras, papel de lotaria ou papel “almoço”, o mais conhecido da companhia, destinado a caderno escolares com marca de água. Deste modo, a empresa começou a marcar a sua posição e destaque no mercado papeleiro.

Em 1940 a empresa tornou-se autossuficiente em termos energéticos através da aquisição de um motor a diesel. Já nesta altura eram utilizadas matérias-primas recicladas de origem vegetal, como sacos de cimento, trapos, algodão, linho e cordas. Entre a década

de 50 e 60 para além da CPP ser pioneira na formação profissional, recrutando técnicos noutras fábricas papeleiras, passou a utilizar 4 máquinas de papel, das quais 2 eram planas e as outras 2 redondas.

Com o passar dos anos os designados papéis especiais foram perdendo a sua importância, chegando mesmo, no caso do papel selado a ser extinto, assim, vislumbrando este declínio eminente, em 1977, a empresa decide abandonar esta vertente de produção e começa a dedicar-se ao fabrico de Cartão Multiplex no Centro de Produção do Prado, com a instalação da máquina “*Bruderhaus*”, de origem alemã. Mais tarde, já em 1988, a máquina de fabrico voltou a sofrer nova remodelação, tendo em 1983 visto o seu capital ser transferido para o Grupo Portucel, na sequência das nacionalizações. Mais tarde, em 1999 a companhia volta a ser privatizada por um grupo de investidores privados.

Quanto à Lousã, foi no ano de 1986 que se deu a grande remodelação na máquina de fabrico, começando assim a dedicar-se ao fabrico de Cartolinas Bristol.

Foi nesta altura também, que foram fixadas as metas da atual capacidade produtiva, onde a Prado figura com uma capacidade de produção líquida instalada de 39 mil toneladas por ano de Cartões Multiplex para embalagens e, no caso da Lousã, esta possui uma capacidade produtiva de 24,5 mil toneladas por ano líquidas de Cartolinas Bristol para a indústria gráfica.

Ainda no final do século XX, a Prado atinge as 100 toneladas de capacidade diária (líquida). Com o intuito de acompanhar a evolução tecnológica e assim aperfeiçoar o seu desempenho, adquire 2 cortadeiras automáticas, modernizando o sistema de corte, uma linha de plastificação automática, tanto para paletes como para bobines, órgãos de revestimento mais sofisticados com secagem por infravermelhos, aumento da secaria, substituição de alguns formadores, modernização da transmissão para um aumento de velocidade e, ainda, obtém novo equipamento de medição para o laboratório e controle de características físico-mecânicas do cartão, permitindo um controlo mais rigoroso da sua qualidade.

Tendo em conta a mudança radical nos anos 80, em que o preço passou a ser preterido à qualidade, em 1995, a empresa decidiu tomar a qualidade como uma mais-valia para o seu desempenho e iniciou o processo de conceção e implementação de um Sistema de Gestão da Qualidade de acordo com a norma vigente da época.

Desde muito cedo que o conceito de melhoria contínua se encontra entre as maiores preocupações da empresa, prova disso foram os sucessivos e importantes investimentos realizados no início do século XXI, onde melhorias na qualidade, na aquisição de formadores, melhoramentos na secaria e revestimento, conduziram a um aumento da eficiência produtiva, verificando-se uma capacidade de produção de cerca de 120 toneladas por dia, aproximadamente 40 mil toneladas por ano.

A liderança destacada no mercado interno de Cartolinas Bristol e Cartões Multiplex, a conquista de posições significativas no espaço Ibérico, bem como uma presença competitiva noutros mercados europeus e extra-europeus testemunham um potencial de renovação efetivo.

A Junho de 2003, dá-se a cisão da Companhia do Papel do Prado, originando as duas empresas distintas referidas anteriormente. E foi deste modo que surgiu a PK, uma empresa que procura, de modo continuado, atingir a excelência na produção de cartões, dando resposta às exigências de um mercado global. Porém, a PK e a PCL mantêm íntimas ligações até aos dias de hoje, possuindo inclusive o mesmo Serviço de Recursos Humanos, a mesma Direção Administrativa/Financeira e partilham também, o mesmo Núcleo de Qualidade e Ambiente.

O capital social da Prado Karton é de 2 000 000 Euros, sendo a Prado Cartolinas da Lousã, SA, o seu maior acionista com 98,84% do capital, encontrando-se os restantes 1,16% do capital dispersos por pequenos acionistas.

Numa sociedade competitiva em que é crucial a evolução tecnológica para o desenvolvimento industrial, tornou-se evidente com o passar dos anos que este crescimento tinha de ser feito de forma sustentável. Assim surgiu o PCIP (Prevenção e Controlo Integrados da Poluição), que veio trazer uma nova perspetiva às tradicionais estratégias setoriais de combate à poluição, favorecendo a proteção do ambiente no seu todo. Neste contexto, a PK, que tem como missão produzir e comercializar cartão com elevados padrões de qualidade, apostando na inovação tecnológica e na preservação do meio ambiente, com o intuito de diminuir a pegada ecológica da sua atividade, em 2007, obteve a sua Licença Ambiental.

Na sequência, da sua Licença Ambiental, legislação vigente e exigências dos clientes/mercados, que consideram que a questão ambiental é determinante para um desenvolvimento e crescimento sustentável das empresas industriais, a PK, empreendeu em

2009 a concepção e implementação de um sistema de gestão ambiental, prevenindo assim, a poluição do meio ambiente, de acordo com os requisitos da norma em vigor.

Dado o sector em que a PK se insere, também a responsabilidade florestal é de grande importância para a positiva contribuição da empresa para com o meio ambiente, com a utilização apenas de matérias-primas fibrosas provenientes de florestas bem geridas e de fontes não controversas. Posto isto, em 2011, a PK implementou um Sistema de Cadeia de Responsabilidade FSC (*Forest Stewardship Council*).

A Prado Karton funciona em regime de produção contínua, 7 dias por semana, e emprega, atualmente, mais de 100 pessoas. Como um dos princípios de desenvolvimento pessoal e profissional da empresa é a formação contínua, anualmente ou bianualmente, a empresa realiza formações, com base no diagnóstico das necessidades de qualificação dos trabalhadores. Formações, essas, que têm como intuito desenvolver as competências de cada um, de forma a tomarem decisões mais acertadas perante a resolução de um problema, originando um aumento da produtividade e criatividade.

No que toca à questão de Saúde, Higiene e Segurança no Trabalho, a empresa obedece à legislação em vigor, procurando difundir entre todos os trabalhadores as normas e procedimentos aplicáveis através de uma Comissão de Saúde, Higiene e Segurança no Trabalho. Esta comissão tem como missão dinamizar, desenvolver e coordenar todas as atividades que visem a prevenção de acidentes e saúde dos trabalhadores, a título de exemplo, a empresa dispõe de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) que asseguram a proteção contra acidentes de trabalho, mas também conferem proteção contra doenças profissionais.

No cumprimento do dever genérico de velar pela saúde no trabalho e doenças profissionais, a empresa dispõe ainda de, Medicina no Trabalho, uma vez por semana, e Medicina Curativa, duas vezes por semana (Prado Karton, 2011) (Prado Karton, 2014) (www.pradocartonboard.com).



Figura 1 – Antiga Fábrica da Prado, a CPP (em cima) e as atuais instalações, PK (em baixo).

Fonte: Prado Karton

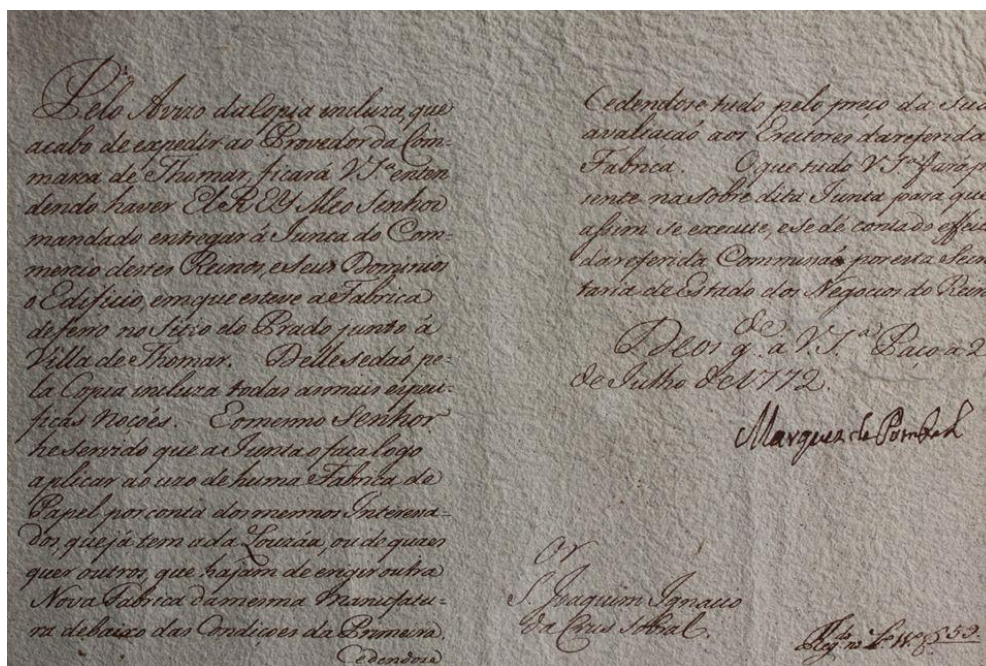


Figura 2 – Alvará passado por Sebastião José de Carvalho e Melo, Marquês de Pombal, para a criação da Fábrica de Papel do Prado, em 1772.

Fonte: Prado Karton

1.2.2. Organização da Empresa

Na Figura 3 apresenta-se o organograma da empresa, para um melhor compreensão de como esta se encontra dividida, assim como das relações existentes entre cada setor.

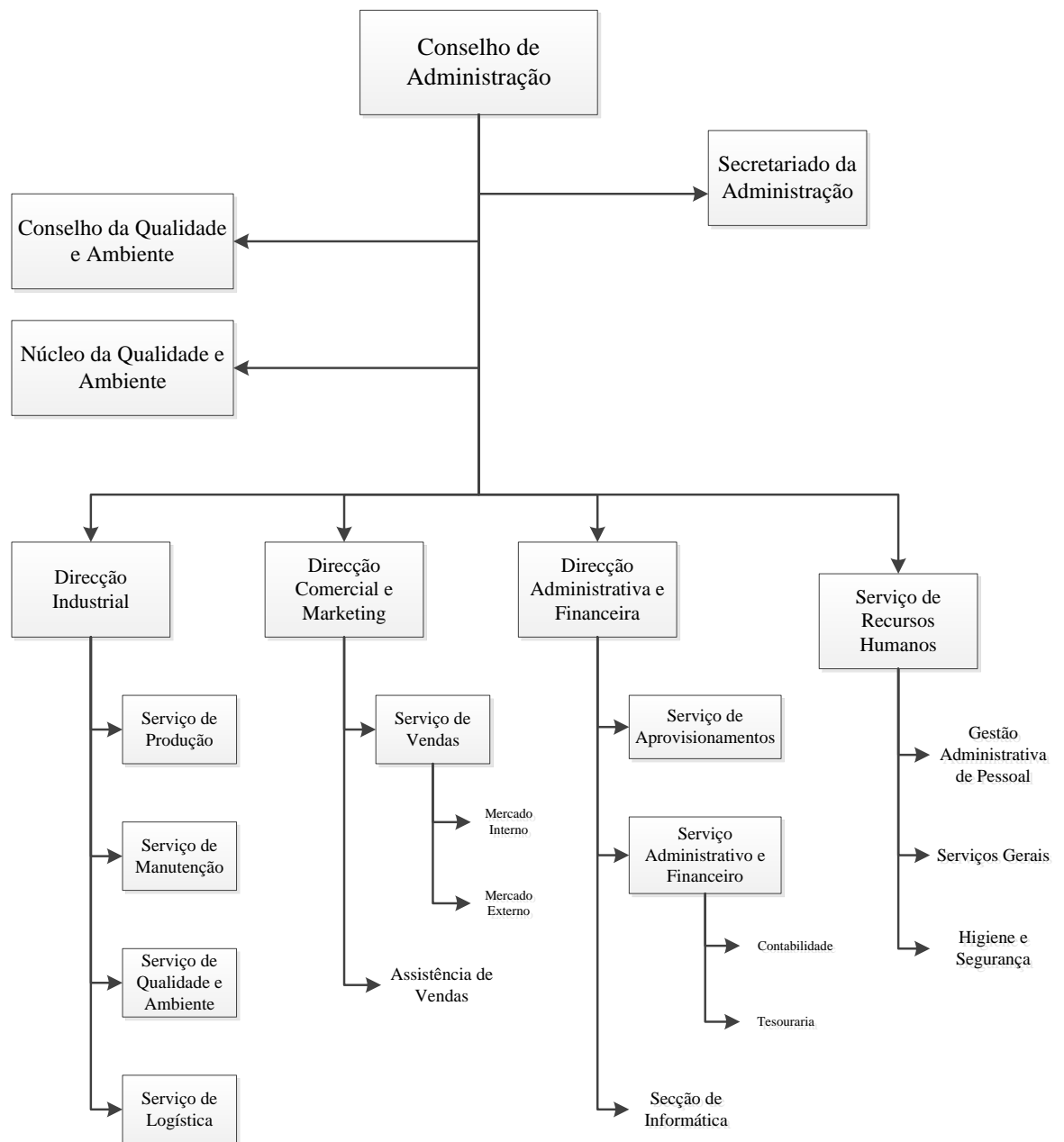


Figura 3 – Organograma da Prado Karton.

Fonte: MGSI, Prado Karton

1.2.3. Certificação

A Prado Karton reconheceu que implementação de um sistema de gestão e a sua posterior certificação seria uma mais-valia para a empresa, já que contribuiria para o reconhecimento e satisfação dos clientes e outras partes interessadas, melhoria da imagem, acesso a novos mercados, redução de custos de funcionamento através da melhoria do desempenho operacional e uma nova cultura com a sensibilização e motivação dos colaboradores, orientada para a melhoria contínua e para a satisfação dos clientes e outras partes interessadas (www.pradocartonboard.com).

1.2.3.1. Qualidade

Desde que iniciou o processo de conceção e implementação de um Sistema de Qualidade em 1995, a empresa tem registado uma evolução ao nível da certificação da qualidade, tendo obtido a certificação em 1997 de acordo com a norma NP EN ISO 9002. Em 2002, a PK iniciou o processo de transição do seu Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) para a NP EN ISO 9001:2000, obtido no ano seguinte. Já em 2009, a empresa atualizou o seu SGQ para a norma atualmente em vigor, NP EN ISO 9001:2008, tendo adquirido a certificação nesse mesmo ano (Prado Karton, 2014).

1.2.3.2. Ambiente

Relativamente à questão ambiental a Prado Karton S.A., está abrangida pela Diretiva Europeia PCIP – Prevenção e Controlo Integrados da Poluição, tendo obtido a correspondente Licença Ambiental (LA 95/2007) a 30 de Outubro de 2007.

Na sequência, da sua Licença Ambiental, legislação vigente e exigências dos clientes/mercados, que consideram que a questão ambiental é determinante para um desenvolvimento e crescimento sustentável das empresas industriais, a PK, empreendeu em 2009 a conceção e implementação de um sistema de gestão ambiental, de acordo com os requisitos da norma NP EN ISO 14001:2004, o qual foi certificado em Novembro de 2010.

Em 2011, a PK, procedeu à integração no seu Sistema de Gestão da Qualidade e Ambiente do referencial FSC, referente à cadeia de responsabilidade florestal, tendo obtido a certificação neste domínio em 7 de Agosto de 2012 (Prado Karton, 2014).

1.2.4. Política de Gestão Integrada

A Prado Karton de forma a satisfazer as necessidades e expectativas dos seus clientes, possui como prioridade o fornecimento dos produtos e serviços desejados, prevenindo a poluição do meio ambiente e utilizando matérias-primas fibrosas provenientes de florestas bem geridas e de fontes não controversas. Para garantir o cumprimento desta política, a Prado Karton, compromete-se a:

- Melhorar continuamente os seus processos, produtos e serviços, respondendo às expectativas dos clientes
- Cumprir os prazos de entrega e outras condições acordadas com os clientes;
- Avaliar a eficácia e eficiência dos processos, produtos e serviços;
- Valorizar e desenvolver as competências dos seus recursos humanos;
- Promover o desenvolvimento das condições de higiene e segurança de pessoas e bens;
- Otimizar os custos da empresa através da redução de não conformidades de produtos e serviços e da utilização racional dos recursos naturais;
- Adotar uma atitude pró-ativa de prevenção/minimização de impactes ambientais negativos;
- Cumprir os requisitos legais e respeitar os princípios éticos aplicáveis ao seu negócio e à preservação do meio ambiente;
- Incentivar e/ou colaborar no desenvolvimento de melhores práticas ambientais, junto dos seus colaboradores, fornecedores e outras partes interessadas;
- Sensibilizar os fornecedores de matérias-primas fibrosas para o cumprimento dos requisitos normativos FSC;
- Manter os Sistemas de Gestão adequados aos seus produtos, atividades e serviços, em conformidade com as normas ISO 9001, 14001 e o referencial normativo FSC (Prado Karton, 2011).

2. Produção de Cartão – O Processo Tecnológico

O papel é tradicionalmente definido como uma estrutura que resulta do entrelaçamento de fibras ligadas entre si predominantemente por pontes de hidrogénio. As fibras existentes nos tecidos vegetais possuem a capacidade de formar este tipo de ligações, constituindo a madeira a principal fonte de fibras papeladeiras. Embora as características dos diferentes tipos de madeira, bem como as propriedades pretendidas para o papel, condicionem as várias etapas de fabrico, pode, no entanto, estabelecer-se uma sequência de operações mais ou menos comuns a praticamente todos os processos de fabrico de papel.

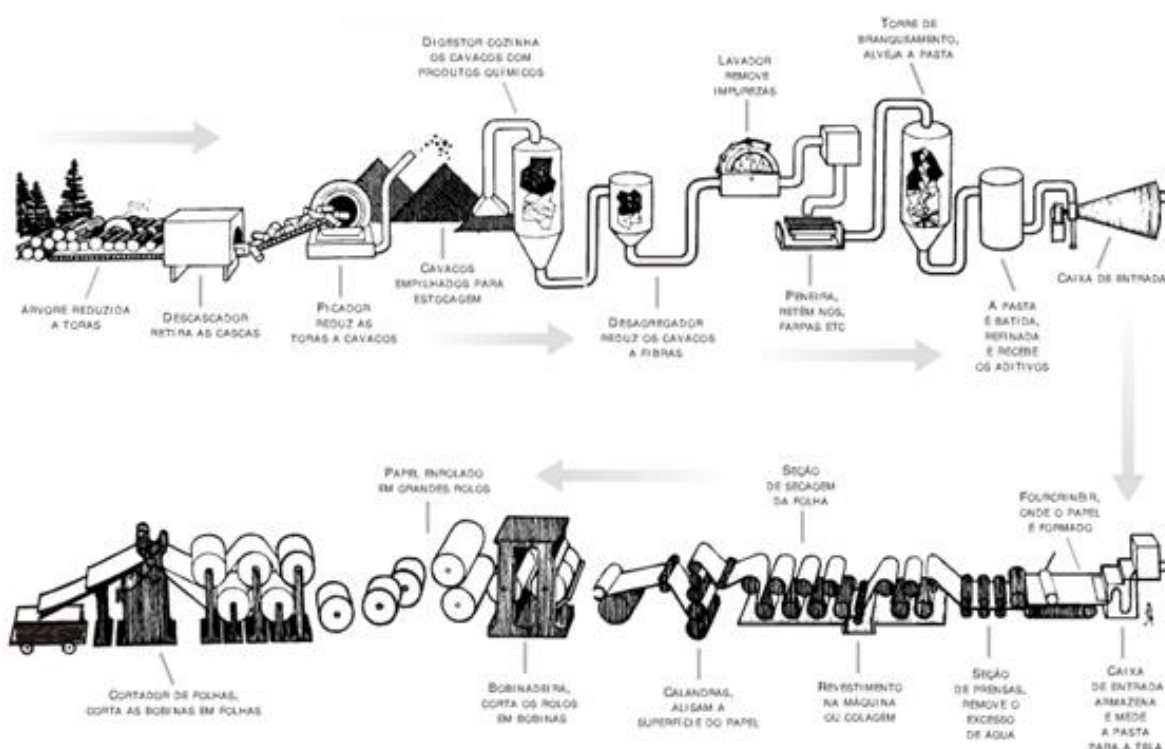


Figura 4 – Sequência das operações de fabrico de papel a partir de fibra virgem.

Fonte: prodgraft – usjt

Como se pode ver através da Figura 4 as principais etapas de fabrico de papel são: a seleção e preparação da matéria-prima (madeira), a obtenção da pasta (por cozimento químico ou por via mecânica), o seu branqueamento, se necessário, e finalmente, a refinação e a formação da folha na máquina de papel (Carvalho, 1999). Deste modo,

segue-se uma descrição mais detalhada de cada uma destas fases do fabrico de papel, recaindo com maior evidência no processo de fabrico da Prado Karton.

2.1. História do Papel

O papel é considerado o principal suporte para a difusão da escrita, da informação e de todo o conhecimento humano.

Antes do seu conhecimento, o Homem registava os acontecimentos importantes da sua vida, aqueles que deveriam perdurar no tempo, em basicamente todo o tipo de objetos que possuísse alguma resistência à degradação, como: barro cozido, tijolos, obeliscos, pedras, placas de metal (principalmente cobre), marfim, folhas e cascas de árvores.

Mais tarde, 3000 a.C., em substituição dos materiais usados pelos povos primitivos surgiu o papiro, a primeira planta a ser utilizada como material de escrita. Este feito foi concretizado pelos egípcios, que usaram esta planta aquática por ser uma espécie espontânea e muito abundante nas terras alagadas e pantanosas da foz do rio Nilo.



Figura 5 – Fabrico do papiro: 1 – papiro; 2 – Separação da casca; 3 – Corte do caule em tiras; 4 – Deposição das tiras em camadas numa pedra plana; 5 – Martelo para bater; 6 – Pedra de polimento.

Fonte: Cientista Didático, 2012

Os caules do papiro eram cortados em lâminas muito finas e colocados na vertical e na horizontal alternadamente, camada por camada, até atingir o formato e a espessura desejadas, usando como meio líquido a própria água do rio Nilo. Em cima da última camada era colocada uma pedra que funcionava como prensa. De seguida, a folha era seca ao ar e empilhada em banho de azeite, sendo depois amaciada e alisada à mão, com uma pedra polida (ágata), como acabamento final, como ilustra a Figura 5. No entanto, foram os Romanos que melhoraram o papiro, fazendo um tipo de colagem superficial com farinha, tornando-o branco na consequência desse processo e assim, mais apto à escrita. As folhas de papiro, que depois de escritas se guardavam enroladas, foram o melhor papel que existiu na Europa até ao século VIII d.C.

Nesta época existiu também outro suporte de escrita, o pergaminho, criado numa cidade da Ásia chamada Pérgamo, que originou o seu nome. Ainda hoje se ignora se somente apareceu depois ou se terá sido um antecessor do papiro. Era preparado com peles de animais, nomeadamente de ovelha e cabra. Numa primeira fase as peles eram embebidas em cal viva para a remoção dos pelos e restos de carne, sendo depois lavadas e estendidas a secar em caixilhos especiais. Após secas, eram esfregadas dos dois lados com argila muito fina e pedra-pomes. Era deste modo que se conseguiam obter folhas lisas, bastantes mais resistentes do que o papiro e com uma cor branco-marfim que as tornava ótimas para a escrita. O pergaminho, além de muito mais duradouro, já permitia a reunião das folhas em livros, coisa que o papiro não admitia. O pergaminho foi usado correntemente na Europa na Idade Média, e ainda hoje, é usado em documentos mais valiosos, pois é considerado material de luxo.

Contudo, foram os chineses, mais propriamente Ts'ai Lun, que criou o verdadeiro papel. Durante o primeiro século da era cristã, Ts'ai Lun mandou bater, conjuntamente, farrapos de seda e cascas de amoreira, crivando posteriormente as fibras separadas pelo batimento, numa forma feita de finas lâminas de bambu entrelaçadas. Contrariamente ao papiro e pergaminho, em que a estrutura das plantas e das peles não era modificada, mas apenas tratada e melhorada, no caso do papel, os chineses desfibravam as diversas plantas por eles ensaiadas, principalmente linho e cânhamo, e voltavam a



Figura 6 – Fabrico manual de papel.

Fonte: Canavarro

juntá-las, constituindo assim um enfeltrado muito fino, que formava as folhas do verdadeiro papel, como se pode ver na Figura 6. Ao longo dos séculos esta técnica foi sendo aperfeiçoada e os chineses, usando caravanas, levaram o papel por toda a Ásia, Oriente e Pérsia. Nasce assim, uma nova era da história da escrita, em que o papel teve um lugar de destaque, como se pode constatar na Figura 7 que se segue.



Figura 7 – Evolução do papel: papiro (esquerda); pergaminho (meio); papel (direita).

Fonte: Cientista Didático, 2012

Foi no século VIII, que finalmente o papel chega à Europa, depois duma invasão árabe à China, em que o segredo do fabrico de papel foi por fim revelado. Coube à Espanha a honra de ser o primeiro produtor europeu de papel, Os Mouros trouxeram para a Península Ibérica a sua herança papelreira, nomeadamente para Toledo e Valência. Como demonstra a Figura 8, foi em Jativa, perto de Valência, que foi fabricado o primeiro papel europeu, em 1150. Da Espanha passou à Itália, França, Alemanha, Holanda, América do Norte e só no século XVIII se começa a fabricar papel na Bélgica, Inglaterra e Rússia.

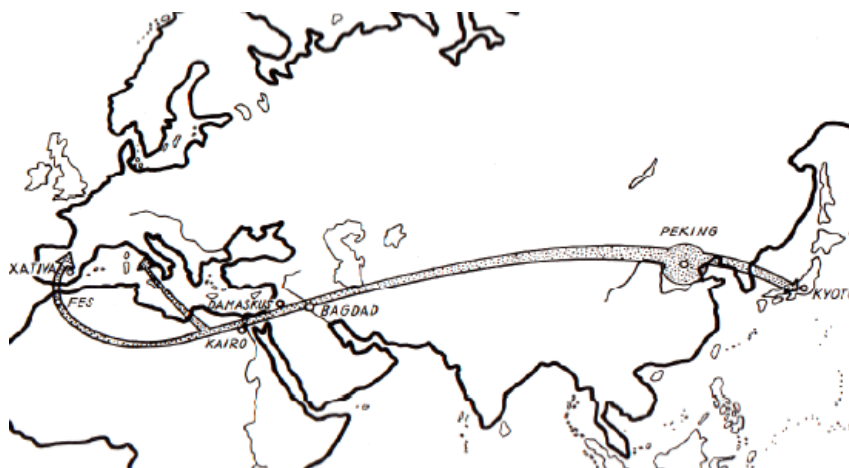


Figura 8 – A rota do papel até chegar à Europa.

Fonte: Alvares

Quanto a Portugal, segundo o Dr. Luís Bívar, a primeira fábrica de papel devidamente registada, data de 1411, em Leiria. A partir do século XVI, muitas outras fábricas se instalaram em Portugal, entre as quais a Abelheira, Prado (Lousã e Tomar), Oeiras, Góis, Almonda, Porto de Cavaleiros, Matrena, Serpins, etc... Entre elas há que dar

destaque à fábrica de papel de Vizela, que em 1805, no seguimento de várias experiências frutuosas efetuadas para substituir o trapo como matéria-prima, produziu-se, pela primeira vez no mundo, papel à base de fibras de madeira (pinho). Também em 1906, pela primeira vez no mundo, a da fábrica de Celulose de Caima usou como matéria-prima as fibras curtas de eucalipto no fabrico de pastas, pelo processo do bissulfito.

Foi ainda em 1450, que após o desenvolvimento da prensa de impressão de caracteres móveis, Gutenberg imprimiu pela primeira vez a Bíblia. Este feito levou a Europa reduzir exponencialmente a sua taxa de analfabetismo e a ver a sua capacidade de produção insuficiente para a procura acrescida de papel. Muitas inovações favoreceram o aumento da produção de papel, mas a mais importante foi certamente a invenção da máquina de papel, por volta de 1800.

Já no século XIX ocorre uma série importante de invenções na indústria papelreira. Um dos primeiros foi Matthias Koops, que usou papéis velhos, já impressos, para fazer 700 resmas de papel imaculadamente branco, dando-se assim o primeiro passo na recuperação das fibras secundárias. No entanto, a invenção do século coube ao francês Louis Robert, que concebeu a primeira mesa plana que permitia o fabrico de papel “sem fim”. Curiosamente, esta máquina vem a chamar-se “*Fourdrinier*”, devido ao nome dos ingleses que compraram a patente e a desenvolveram na fábrica de Boxmoor, na Inglaterra. Várias patentes continuam a ser registadas até se entrar no fabrico de papel a partir de fibras de madeira.

Desde essa data até ao presente, as mesmas técnicas foram refinadas, polidas, requintadas e mesmo sofisticadas com maiores eficiências, sendo atualmente fabricado em duas fases; a primeira de formação da pasta fibrosa e a segunda de fabrico do papel propriamente dito. Todavia, curiosamente, não se afastaram, na sua substância íntima, do conceito clássico de Ts'ai Lun das quatro operações da sua técnica: Mistura – Drenagem – Prensagem – Secagem (Canavarro, 1985) (Santos & Falcão, 1980).

2.2. Madeira

É grande a diversidade de espécies capazes de produzir pastas celulósicas, mas apenas algumas, por motivos de ordem económica e tecnológica, se prestam como matérias-primas da indústria de pastas para papel. Problemas como um regular e contínuo

abastecimento da fábrica em matéria-prima, encargos reduzidos de exploração, baixo preço da matéria-prima e garantia de qualidade do produto final são os principais aspetos de ordem económica a levar em conta, quando da instalação de uma nova unidade fabril de pasta para papel, para além de uma garantia de colocação das pastas produzidas nos mercados interno e/ou externo. Também as propriedades da matéria-prima como proporção casca/madeira, dureza, cor e densidade do lenho, existência de nós, facilidade de deslenhificação e permeabilidade aos reagentes, percentagem elevada de fibras, facilidade de branqueamento, estrutura e dimensões das fibras são características seletivas e de grande importância para a utilização de determinadas matérias-primas (Santos & Falcão, 1980).

As fibras virgens de maior importância económica no fabrico de pastas celulósicas são provenientes de árvores identificadas em Botânica como Gimnospérmicas, pertencentes à classe das Coníferas, e as Angiospérmicas Dicotiledóneas. Estas árvores são vulgarmente conhecidas por resinosas (*softwoods*) e folhosas (*hardwoods*), respetivamente. Podem citar-se como exemplo das primeiras as árvores que produzem cones, como os pinheiros, abetos e cedros, e das segundas espécies que possuem uma folha reticulada como o eucalipto, carvalho, e a faia (Carvalho, 1999).

Resinosas

Como referido anteriormente, dá-se o nome de resinosas às espécies pertencentes à divisão Gimnospérmicas e à classe das Coníferas, que comportam cerca de 550 espécies, sendo o grupo mais numeroso das Gimnospérmicas. Até à década de 40 esta era praticamente a única matéria-prima florestal utilizada no fabrico de pastas para papel, entre elas distinguíam-se os géneros, *Pinus*, *Larix*, *Píce*a, *Sequoia*, *Taxodium*, *Tsuga*, *Pseudotsuga*, *Abies* e *Thuya*, alguns dos quais ilustrados na Figura 9.

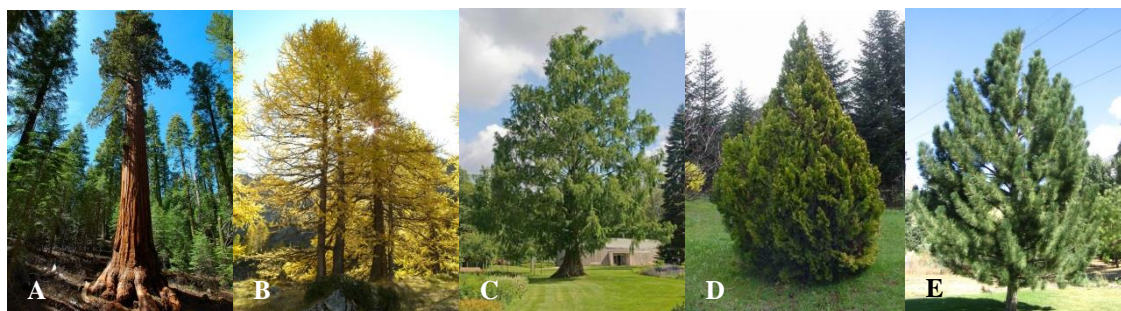


Figura 9 – Algumas Coníferas: A - *Sequoia*; B - *Taxodium*; C - *Larix*; D - *Thuya*; E – *Pinus*.

No entanto, o seu consumo entrou em pleno decaimento, sendo que, hoje em dia apenas se produz pasta de pinho em grandes quantidades e esta é utilizada na sua totalidade para integração no processo. A principal razão deste acontecimento deve-se à dimensão dos seus elementos fibrosos (traqueídeos), na medida em que o comprimento das fibras foi durante muito tempo um indicativo fundamental de qualidade das pastas. Além disso, características como a cor e o elevado teor de resina condicionavam o seu uso em determinados processos, passando-se a utilizar as progressivamente as fibras curtas.

As resinosas são conhecidas como espécies de fibra longa, sendo o seu comprimento aproximadamente três vezes do das folhosas, variando entre 2 a 5 mm, e dupla a sua largura. A sua madeira caracteriza-se por possuir uma estrutura microscópica simples, filogenicamente precursora da estrutura das folhosas. Dum modo geral, o lenho das resinosas, principal fornecedor de elementos fibrosos, é constituído por elementos prosenquimatosos (traqueídeos) e elementos parenquimatosos (parênquima longitudinal).

Os traqueídeos podem ser longitudinais ou radiais, sendo que os primeiros são os de maior representatividade, constituindo em média cerca de 93% do volume do lenho. Os traqueídeos radiais são considerados elementos acessórios, podendo ser marginais (nas margens dum raio) e intercalares (na parte média dum raio).

Observando o corte transversal do lenho na Figura 10, verifica-se que os traqueídeos longitudinais apresentam uma seção poligonal ou arredondada, variável conforme as espécies, sendo poligonal no caso do pinho. Na Primavera os traqueídeos são mais largos e de parede menos espessa que os de Outono, sendo este mais estreitos e mais densos. Quanto às suas dimensões, estas diferem de espécie para espécie. Os traqueídeos são ainda fusiformes, de pontas rombas e possuem pontuações (inúmeros orifícios) aeroladas nas paredes radiais e por vezes, também nas tangenciais.

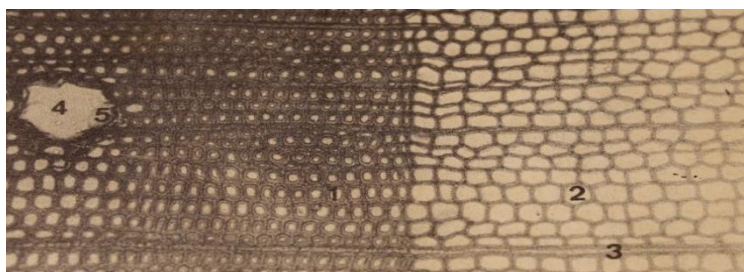


Figura 10 – Corte tansversal do lenho de uma Resinosa: 1 – traqueídeos de Outono; 2 – traqueídeos de Primavera; 3 – raios; 4 – canal de resina; 5 – parênquima epitelial (resinífero).

Fonte: Santos & Falcão, 1980.

As pontuações aeroladas existentes no campo de cruzamento entre os traqueídeos e os raios, são uma característica importante para a identificação das resinosas.

São considerados elementos acessórios o parênquima longitudinal e o parênquima radial. O parênquima longitudinal é formado por células mais ou menos prismáticas, de seção transversal idêntica às dos traqueídeos que as rodeiam, mas com parede de espessura inferior. Dispõem-se longitudinalmente, quase sempre em séries ou cadeias. Já o parênquima radial constitui os raios lenhosos.

Ainda dentro dos elementos parenquimatosos, existem, em alguns casos, o parênquima epitelial (resinífero) que envolve e delimita os canais de resina.

Os elementos parenquimatosos constituem, regra geral, cerca de 7% do total do lenho, distribuídos da seguinte forma: parênquima longitudinal (1%); raios lenhosos (6%) e canais de resina, quando presentes (0,4%) (Santos & Falcão, 1980); (Carvalho, 1999); (Canavarro, 1985).

Folhosas

Por folhosas entendem-se vulgarmente as espécies Angiospérmicas Dicotiledóneas, as angiospermas são as plantas que apresentam o maior sucesso evolutivo nos dias atuais, contando com cerca de 235 mil espécies, que sofreram inúmeras mutações génicas para se poderem adaptar aos mais variados tipos de ambiente. As folhosas mais utilizadas para o fabrico de pastas, até cerca de 1940, podem ser observadas na Figura 11 e pertencem aos seguintes géneros: *Castanea*, *Fagus*, *Liquidambar*, *Nyssa*, *Magnolia*, *Liriodendron*, *Acer*, *Bétula*, *Tília*, *Populus*, *Salix* e *Eucalyptus*, sendo este último o mais utilizado hoje em dia.

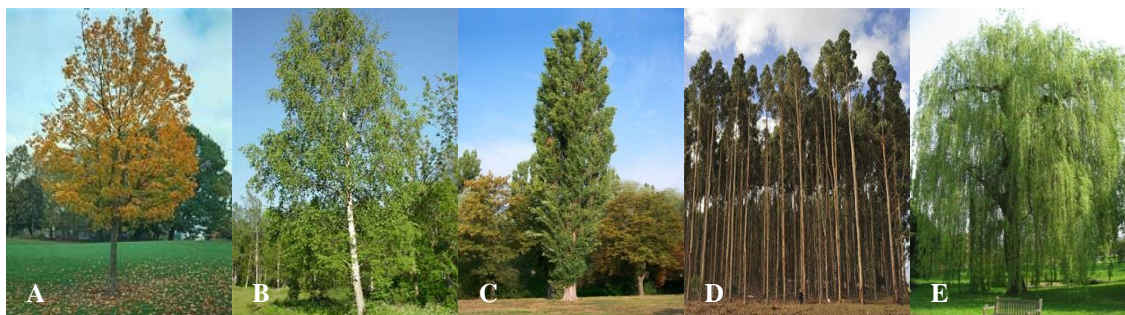


Figura 11 – Algumas espécies de Folhosas: A – Acer; B – Bétula; C – Populus; D – Eucalyptus; E – Salix.

O emprego das folhosas como fonte de matéria-prima para a indústria de pasta mudou radicalmente ao longo dos anos, tendo a sua utilização aumentado seriamente depois de ultrapassadas as dificuldades iniciais relativamente à menor dimensão das suas fibras. Para além disso, a madeira das folhosas possui um conjunto de características intrínsecas que tornam muito vantajosa a sua exploração na indústria de pastas papeleiras. De um modo geral, são espécies de rápido crescimento, com densidades superiores às resinosas e dão origem a pastas em que branqueamento é mais fácil.

Por oposição às resinosas, as folhosas têm um comprimento compreendido entre 0,5 e 2,0 mm, sendo por isso, denominadas de “fibras curtas”. Este é um aspeto importante a ter em conta, pois reflete-se nas características mecânicas dos papéis, particularmente na resistência ao rasgamento, que é mais baixa do que nos de fibra longa.

Nas folhosas, cuja anatomia é mais elaborada do que a das resinosas, mas assim como estas, também o seu lenho é constituído por elementos prosenquimatosos (fibras libriformes, fibrotraqueídeos, traqueídeos e vasos) e elementos parenquimatosos (parênquima longitudinal e parênquima radial – raios lenhosos), todos eles com estruturas e funções bem distintas, como ilustra a Figura 12.

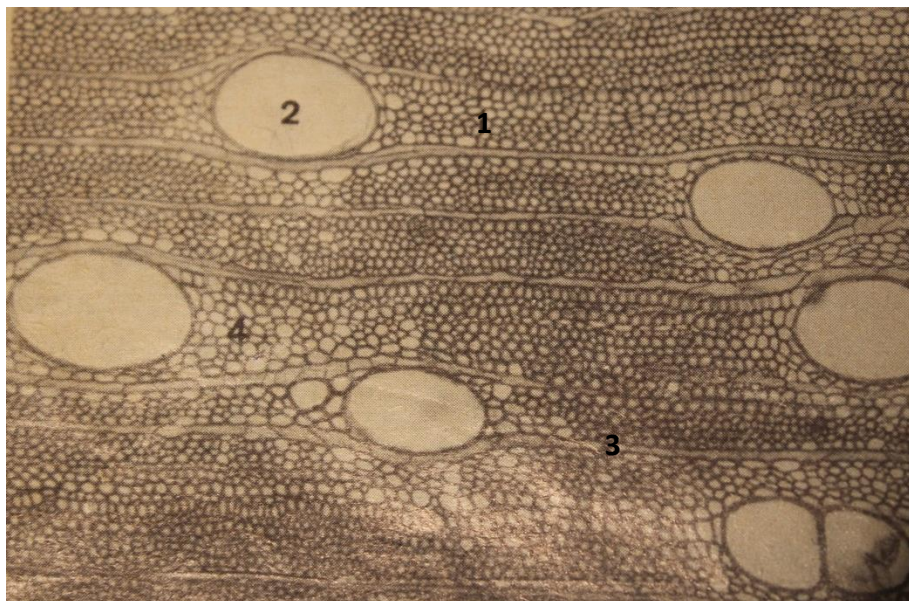


Figura 12 – Corte transversal de uma Folhosa:
1 – fibras libriformes; 2 – vasos; 3 – raio lenhoso; 4 – parênquima.

Fonte: Santos & Falcão, 1980.

As células com funções de suporte, mais robustas, alongadas, pontiagudas e de paredes espessas, genericamente designadas por fibras, constituem a maior parte do lenho, cerca de 55%. As suas dimensões podem ser variadas, chegando em algumas espécies a atingir os 80 µm de largura. Consoante a sua forma e abundância de pontuações podem distinguir-se entre as fibras:

- Fibras Libriformes – são células alongadas, geralmente de paredes espessas, não perfuradas e com pontuações simples;
- Fibrotraqueídeos – são semelhantes às fibras libriformes, de paredes espessas, de lúmen estreito, com as extremidades aguçadas;
- Traqueídeos – são células não perfuradas, com pontuações aeroladas. Existem em menor quantidade que as fibras e a sua presença verifica-se apenas em algumas espécies.

Os elementos de vasos são células específicas para transporte de fluídos, curtas e largas, ocas e de parede finas, com pontuações que permitem a comunicação entre as células, e que se dispõem no topo umas das outras de modo a formar tubos longos, denominados “vasos”. Uma característica importante dos vasos é a possível existência de apêndices terminais, cuja forma e tamanho é distinta conforme as espécies. A sua presença no lenho é relativamente abundante e representa, em média, cerca de 15% do total dos elementos fibrosos.

O parênquima é mais abundante nas folhosas do que nas resinosas, representando cerca de 12% do total do lenho. O tecido parenquimatoso é formado por células paralelepípedicas mais ou menos isodiamétricas, com pontuações simples. As células de transporte e armazenamento de nutrientes (parênquima) são pequenas e finas, agrupadas em feixes, dispostos quer radial (raios lenhosos) quer axialmente. Os raios lenhosos nas folhosas são exclusivamente formados por células parenquimatosas agrupadas em forma de fita que se dispõem radialmente, podendo ser unisseriados ou plurisseriados (Santos & Falcão, 1980); (Carvalho, 1999).

De um modo geral, as fibras longas dão origem a papéis com maior resistência mecânica do que os produzidos com fibras curtas, os quais, em contrapartida, apresentam melhor formação, maior opacidade e melhores características superficiais (aptidão à impressão, suavidade tátil e lisura), especialmente os de fibra de eucalipto. Quanto às

folhosas, são poucas vezes utilizadas sem misturas, tendo a virtude, todavia, de auxiliar a encher com as suas fibras curtas a folha de papel, conferindo-lhe melhores características para o seu posterior uso. Assim, a maior parte dos papéis, como se depreende, é feita de misturas equilibradas de ambos os tipos de fibras, onde a seleção da matéria-prima, tem obviamente uma influência decisiva nas propriedades do produto final (Carvalho, 1999) (Canavarro, 1985).

Contudo, a seleção da matéria-prima fibrosa pode, em primeira grande classificação fazer-se entre as fibras virgens, que são extraídas diretamente da madeira, e as fibras secundárias, que são obtidas por reciclagem de papéis e cartões velhos. A escolha entre estes dois tipos de fibras é feita essencialmente sobre duas considerações básicas: a resistência e a pureza. As fibras secundárias apesar de poderem ser depuradas e branqueadas para utilização no fabrico de papéis de alta qualidade, têm geralmente menor resistência e os custos acrescentados destas operações contrariam a poupança do preço de aquisição dos papéis e cartões recuperados. Por este motivo, a maior aplicação das fibras secundárias é realizada em fabricos que não exijam limpezas e depurações especiais, nomeadamente no fabrico de papéis e cartões “duplex”, isto é, com duas faces, sendo a exterior coberta de pasta branca ou mesmo crua, para melhorar o seu aspeto ou facilidade de impressão (Canavarro, 1985).

É neste contexto que se insere a produção de embalagens da Prado Karton. Apesar de também utilizar fibras virgens, a empresa dedica-se ao fabrico exclusivo de cartões multiplex, que possui três camadas distintas de composição fibrosa: cobertura, interior e verso. Podendo ainda, no caso de ser cartão revestido, ser aplicado sobre a camada de cobertura um revestimento.

2.2.1. Estrutura da Madeira

A madeira, com uma estrutura celular diversificada, exhibe um conjunto de propriedades que a tornam especialmente apta para uma vasta gama de usos, independentemente da sua origem botânica. Trata-se, na verdade, de um material simultaneamente anisotrópico, higroscópico, biodegradável, combustível, isolante e mecânica e quimicamente resistente, cujo interesse para a indústria papelreira reside na quantidade e qualidade das suas fibras, as quais são principalmente obtidas a partir do

tronco da árvore. Por este facto, a análise macroscópica da madeira será aqui feita considerando precisamente um tronco adulto, cuja secção transversal está esquematicamente representada na Figura 13, onde se pode distinguir seis tipos de tecidos: a medula, o cerne, o alburno, o câmbio, o floema e a periderme (Ferreira, 2000).

A medula, de cor escura, é a parte central do tronco e é responsável pelo crescimento das plantas, correspondendo ao tecido formado no primeiro ano de crescimento.

O cerne e o alburno formam em conjunto o xilema, ou lenho, o qual ocupa a maior fração do tronco e possui, de um modo geral, uma grande variedade de células, dispostas na sua maioria longitudinalmente. É ao lenho, que constitui a maior fonte de material fibroso da árvore, que na linguagem corrente se atribui também, de modo simplificado, a designação de madeira. Enquanto o cerne (*heartwood*), que existe apenas nas árvores adultas, é constituído por células mortas unicamente envolvidas no suporte mecânico da árvore, a zona periférica – o alburno (*sapwood*) – de cor normalmente mais clara, está fisiologicamente ativo, contendo água e substâncias dissolvidas provenientes do solo, e é responsável pela condução da seiva bruta a partir da raiz e pela sustentação da árvore.

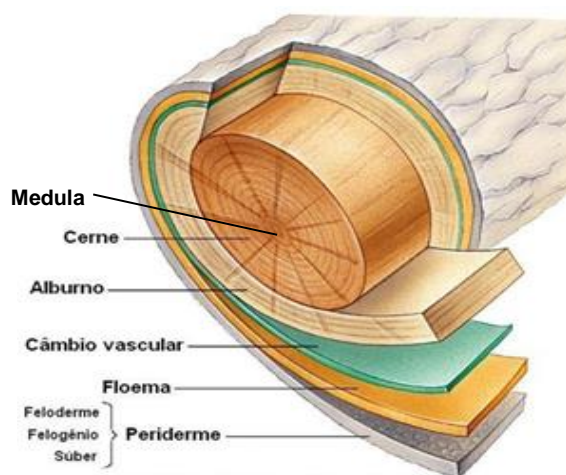


Figura 13 – Secção transversal do tronco de uma árvore.

Fonte: Histologia Vegetal

O câmbio é uma fina camada de células vivas que aparece antes do final do primeiro ano de crescimento e que garante o crescimento radial da árvore (crescimento secundário), através da produção de células de xilema e de floema, em ciclos que variam em função das estações do ano. É pelo floema que se realiza o transporte da seiva

elaborada desde a copa da árvore. Por sua vez, a proteção da árvore contra agressões exteriores (climáticas, biológicas ou mecânicas) é assegurada pela periderme (designada na árvore adulta por ritidoma), composta por tecido inativo de espessura variável consoante a espécie. Juntamente com o floema, a periderme forma a casca da árvore, daí que a estes tecidos seja também usual atribuir os nomes de casca interior e casca exterior, respetivamente (Biermann, 1996) (Carvalho, 1999) (Ferreira, 2000).

A atividade no câmbio é elevada em determinadas estações do ano (como na Primavera, nas zonas temperadas do Hemisfério Norte) produzindo-se um lenho inicial que é caracterizado pela existência de células com lúmen (cavidade central); durante as restantes estações, a taxa de crescimento diminui, formando-se o lenho final. Como resultado desta alternância de crescimento, são geralmente visíveis, na seção transversal anéis de crescimento concêntricos, usualmente observáveis à vista desarmada, cada um compreendendo o xilema produzido durante todo um ciclo de crescimento. As espessuras destes anéis são muito diversas e dependem, não só da espécie, como também, das condições de crescimento e ambientais.

Nos climas temperados, a atividade cambial inicia-se e é mais intensa na primavera, cessando quando as condições climáticas se tornam desfavoráveis, o que, a menos que ocorram perturbações ambientais relevantes, conduz à formação de um anel de crescimento por ano, com madeira de primavera (o lenho inicial) e madeira de verão (o lenho final), como ilustra a Figura 14.

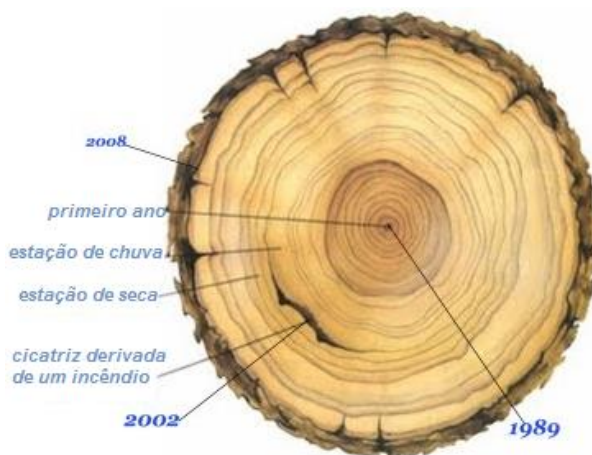


Figura 14 – Anéis de crescimento associados às diferentes estações do ano.

Fonte: LEGostatigrafia

É por isso possível, a partir da contagem dos anéis desde a medula até ao câmbio, na base do tronco, estimar a idade das árvores. Pelo contrário, nos climas tropicais e subtropicais o crescimento da árvore é menos condicionado pela alternância entre épocas de seca e de chuva e processa-se ou de forma contínua ou em ciclos intermitentes e de curta duração, pelo que ou os anéis de crescimento não são visíveis (porque não há diferenças nas células formadas em diferentes fases), ou não refletem alterações sazonais, podendo neste caso existir mais do que um anel por ano.

Constituindo o xilema a maior parte do tronco, como se referiu, este é por consequência a maior fonte de material fibroso para o fabrico de pasta, em que a sua estrutura microscópica apresenta uma elevada complexidade bem como diferenças relevantes entre folhosas e resinosas, o que naturalmente se reflete nos processos de fabrico e nas propriedades do produto final. Não obstante tal diversidade, todas as árvores possuem células que garantem três funções vitais básicas: o suporte mecânico, o armazenamento de substâncias de reserva e a condução de água e nutrientes. Destas células apenas as de armazenamento, as fibras, mantêm o protoplasma, enquanto as restantes são células mortas, com uma cavidade central e uma parede mais ou menos lenhificada (Ferreira, 2000) (Carvalho, 1999).

2.2.2. Ultra-estrutura da Madeira

A madeira resulta de uma estreita associação de componentes químicos que se combinam num sistema ordenada para formar as paredes das diferentes células. A organização interna da parede dessas células é correntemente denominada “ultra-estrutura”, por estar para além do poder de resolução do microscópico ótico.

Os componentes químicos principais da madeira são: a celulose, as hemiceluloses e a lenhina. De uma forma simplista pode dizer-se que a celulose é o principal componente estrutural da parede celular, a lenhina uma substância incrustante e as hemiceluloses o elo de ligação entre elas (Carvalho, 1999) (Ferreira, 2000) (Silva M. E., 2010).

A celulose é o principal componente da fibra, bem como das restantes células do xilema, conferindo-lhes resistência estrutural graças à sua disposição em unidades com elevado grau de cristalinidade (Santos & Falcão, 1980).

No caso particular de uma fibra, as moléculas de celulose agrupam-se em feixes formando microfibrilas, como se pode ver na Figura 15. As microfibrilas, por sua vez, associam-se em macrofibrilas, que se agregam em fibrilas cujos conjuntos formam as paredes das células. As microfibrilas distribuem-se em torno de uma cavidade central, o lúmen, ou seja, interior da célula é oco.

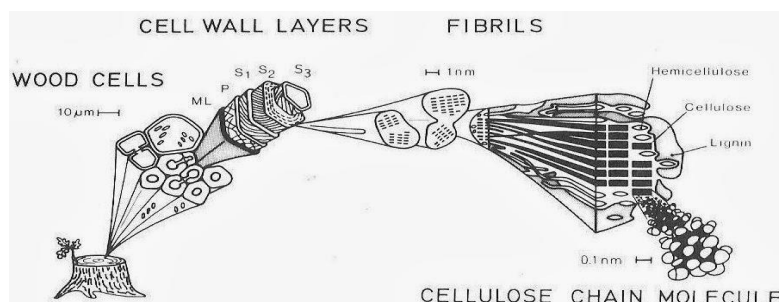


Figura 15 – Estrutura de uma fibra celulósica.

Fonte: Preparation and Plant-growth Efficiency Assessment of Biochars.

Durante a formação da parede celular, as microfibrilas enrolam-se em hélices paralelas com orientações diversas em torno do eixo da célula. Na Figura 16 distingue-se em mais pormenor as seguintes camadas: lamela média, parede primária e parede secundária com três zonas distintas (S1, S2 e S3).

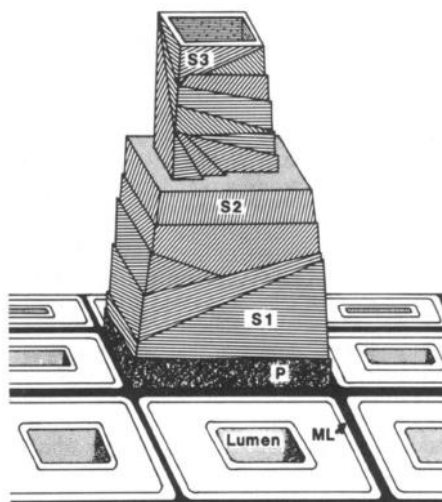


Figura 16 – Representação esquemática da parede de uma fibra:
ML – lamela média; P – parede primária; S1,S2,S3 – camadas da parede secundária.

Fonte: Carvalho, 1999

A lamela média, uma fina camada de espessura variável (0,1 a 0,2 μm), localiza-se entre as células, ligando-as entre si. Esta é altamente lenhificada numa fibra adulta (70 a 90%) e composta por substâncias pécticas no lenho juvenil. Nos processos químicos de separação de fibras a lamela média é removida em menor ou maior extensão por degradação e dissolução nos licores.

A parede primária, formada aquando da divisão cambial, é inicialmente constituída apenas por microfibrilas de celulose, dispersas numa matriz de hemiceluloses, proteína e pectina. Com o desenvolvimento da célula, sensivelmente 70% da massa desta matriz passa a ser lenhina, que no entanto não corresponde senão a cerca de 25% de toda a lenhina da fibra pois, a espessura da parede primária equivale a, no máximo, 10% da espessura total da parede. As microfibrilas de celulose apresentam-se nesta camada com uma orientação irregular helicoidal, quando tomamos por referência o eixo da fibra no sentido do maior comprimento. Este padrão irregular de arranjo microfibrilar faz com que a parede primária seja deformável e extensível, o que facilita a expansão da fibra na fase de diferenciação celular. Por vezes numa fibra adulta dificilmente se distingue a parede primária da lamela média, devido à infiltração de lenhina desta durante o crescimento das células, confundindo-se numa só camada designada de lamela composta. A parede primária é removida quase na totalidade nas operações de cozimento e branqueamento.

A parede secundária começa a formar-se quando a fibra atinge as suas dimensões definitivas (comprimento e largura) do lado interno da parede primária, sendo constituída essencialmente por três sub-camadas: a externa (S1), a intermédia (S2) e a interna (S3), num processo que coincide também com o início da acumulação gradual de lenhina em toda a parede e que culmina com a morte da célula e a perda do material citoplasmático. Esta parede diferencia-se da parede primária porque as suas microfibrilas estão alinhadas em lamelas paralelas umas às outras segundo a direção tangencial, aparentemente sem ligações radiais, e ainda porque é bastante mais espessa e não extensível. As três camadas da parede secundária distinguem-se entre si quer pela sua espessura quer pela orientação helicoidal das microfibrilas em relação ao eixo da fibra.

Na camada externa S1, com espessura de 0,1 a 0,3 μm , existem quatro a seis lamelas de microfibrilas orientadas alternadamente para a direita e para a esquerda, segundo ângulos fibrilares de 50° a 90°. Esta camada encontra-se intimamente ligada à parede primária e fracamente ligada à camada S2, em que a sua composição química

comporta cerca de 30 a 35% de celulose, 20 a 30% de hemiceluloses e 40 a 50% de lenhina.

A camada interna S2 é a mais importante de todas devido à sua grande espessura, que pode atingir 80 a 90% da espessura total da parede (entre 50 a 130 lamelas microfibrilares, com uma espessura total superior a 2 μm , é por este motivo que é nesta camada que se encontra a maior quantidade (embora nem sempre a maior concentração) dos componentes macromoleculares da fibra. As suas microfibrilas orientam-se para a direita formando um ângulo fibrilar de 5 a 20° (no máximo 30°). Este ângulo, constante na camada S2 de cada fibra, varia contudo de fibra para fibra, consoante o seu comprimento e a espessura da camada, sendo tanto maior quanto menores estas dimensões, e é um parâmetro morfológico especialmente relevante, pois influencia decisivamente as propriedades das fibras, nomeadamente a sua rigidez, refletindo-se por isso nas resistências mecânicas do papel (estudos efetuados com resinosas mostraram que esta propriedade varia inversamente com o ângulo fibrilar). Quimicamente, a celulose nesta camada representa cerca de 50 a 55%, as hemiceluloses 30% e a lenhina 15 a 20% do seu conteúdo total. A grande quantidade de zonas amorfas na camada S2 faz com que, após o cozimento e a consequente dissolução da lenhina, seja mais fácil a penetração de água nesta camada e, em consonância com o exposto aquando da análise das propriedades das hemiceluloses, seja portanto favorecida a refinação e a fibrilação interna.

Finalmente a camada interna S3 possui uma composição química e um arranjo microfibrilar idênticos aos da camada S1, sendo porém mais fina (raramente excede 0,1 μm de espessura). Forma o revestimento do lúmen da célula fibrosa no caso de a membrana verrugosa estar ausente. Nesta camada a celulose encontra-se em teores da ordem dos 55%, as hemiceluloses em 30 a 40% e a lenhina entre 5 a 10%. Se esta camada e a camada S1 permanecerem intactas durante os tratamentos químico-mecânicos a que as fibras são submetidas, a rigidez estrutural destas é pouco afetada na medida em que a celulose da camada S2 continua protegida. Em algumas resinosas forma pequenas protuberâncias para o interior do lúmen (Carvalho, 1999) (Ferreira, 2000) (Silva M. E., 2010).

A camada verrugosa, no caso de estar presente, como aliás acontece na maioria das espécies florestais, encontra-se a revestir a parte interna da parede celular dos traqueídeos e fibras, constituindo uma estrutura formada por verrugas, recobertas por uma camada de material amorfo. A presença desta estrutura pode ter interesse para a identificação das

espécies, e sob o ponto de vista tecnológico, pode ter influência na difusão dos licores de cocção usados na indústria de pasta de papel, mas também na penetração de produtos químicos usados para a preservação das madeiras (Santos & Falcão, 1980).

Apesar da sua importância para um melhor entendimento quer do processo de deslenhificação quer da interação entre fibras (da qual dependem as propriedades mecânicas do papel), a distribuição na parede celular e a função de cada um dos componentes é ainda pouco conhecida. O conhecimento desta distribuição é essencial para descrever o modo como os polissacarídeos se associam entre si com a lenhina. De fato, foram propostos ao longo dos anos diferentes modelos com esse objetivo, que têm em comum o fato de reconhecerem a parede celular como um conjunto de microfibrilas de celulose tendencialmente ordenadas numa matriz homogênea de lenhina e hemiceluloses, no entanto, não há unanimidade quanto à natureza e à intensidade das ligações químicas estabelecidas dentro da fibra.

Contudo, verificou-se que a lenhina, além da lamela média, existe em maior percentagem na parede primária e na camada S1, enquanto as hemiceluloses se distribuem quase uniformemente em todas as camadas, embora a sua concentração seja um pouco maior na camada S3, no caso das resinosas, e na S1, no caso das folhosas. Por seu lado, a celulose é o componente predominante da parede secundária, responsável por pelo menos 50% do seu volume (especialmente das camadas S2 e S3), diminuindo a sua percentagem no sentido da lamela média.

Relativamente à espessura das diferentes camadas da parede, não existe uniformidade nos valores entre os vários estudos realizados, o que reflete a grande diversidade dimensional das fibras (associada à espécie, às condições ambientais ou à localização na árvore, entre outros fatores), e ainda a variedade dos métodos de medição utilizados. É assim natural que à espessura total da parede, uma grandeza de extrema importância no desempenho papeleiro das fibras, corresponda também uma gama bastante alargada de valores.

Pelo contrário, independentemente da espécie considerada, a massa específica da parede, nas fibras absolutamente secas, é muito próxima de $1,5 \text{ g/cm}^3$. Para as pastas químicas, cálculos da massa específica a partir da área transversal da parede conduzem a valores de cerca de 1 g/cm^3 , o que confirma a perda de material e a desorganização da

parede celular durante o cozimento, com o aparecimento de mais poros entre as microfibrilas (Carvalho, 1999) (Ferreira, 2000).

2.2.3. Composição Química da Madeira

Genericamente pode dizer-se, quanto à composição química da madeira, que esta é constituída por cerca de 50% de carbono, 43% de oxigénio, 6% de hidrogénio e 1% de azoto, encontrando-se estes elementos distribuídos por compostos macromoleculares e compostos de baixo peso molecular (Biermann, 1996) (Carvalho, 1999) (Ferreira, 2000).

Nos compostos macromoleculares incluem-se os polissacarídeos (celulose e hemiceluloses) e a lenhina, que constituem a parede celular de todas as madeiras e cuja remoção da parede celular implica a utilização de processos químicos ou mecânicos com elevada quantidade de energia que alteram fundamentalmente as propriedades das células. Estes compostos encontram-se representados na Figura 17.

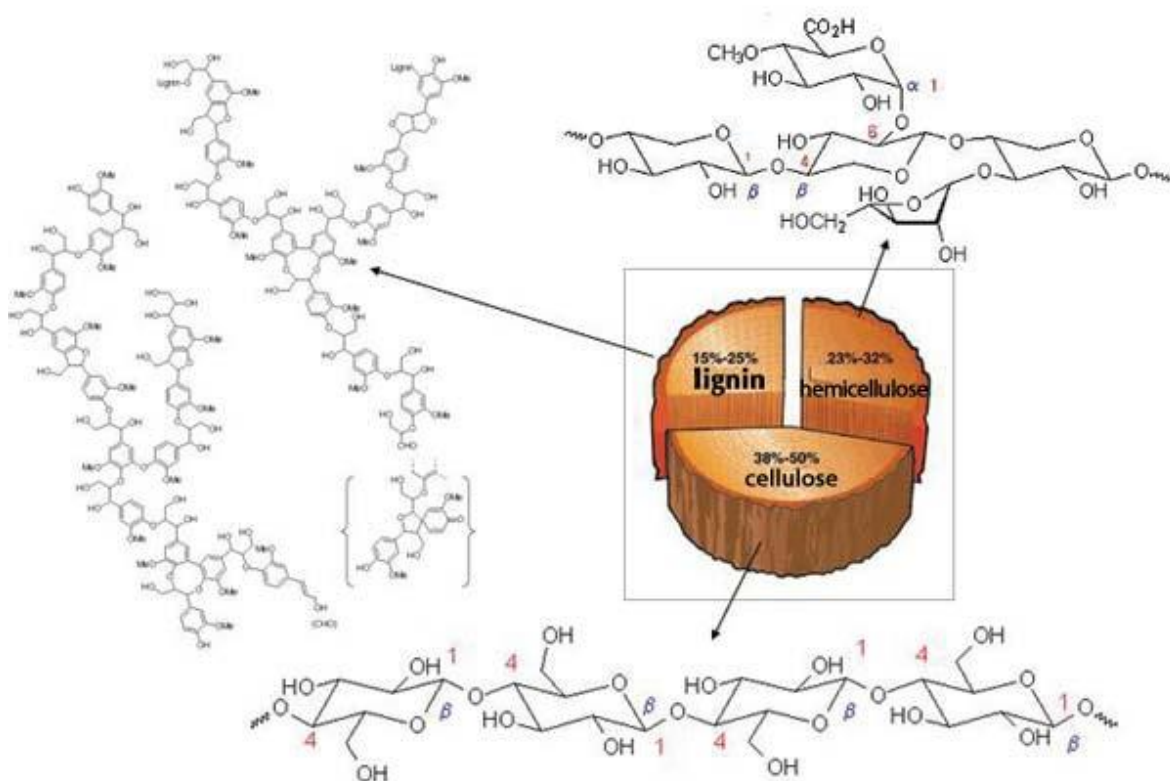


Figura 17 – Compostos Macromoleculares da Madeira.

Fonte: Harun Yahya

Os compostos de baixo peso molecular, em muito menor quantidade, compreendem quer substâncias orgânicas (extrativos) quer substâncias inorgânicas (cinzas), como cálcio, potássio e magnésio, que se encontram no lúmen das células e nos espaços vazios existentes na estrutura da madeira, podendo ser removidos pela utilização de solventes de polaridade adequada. Este grupo de componentes não estruturais é mais específico de cada espécie no que diz respeito ao tipo e à quantidade dos compostos que abrange. No seu conjunto, a matéria orgânica equivale a cerca de 99% da madeira (Carvalho, 1999) (Silva M. E., 2010).

A Tabela 1 permite comparar a composição química média das folhosas e das resinosas, verificando-se que, independentemente das variações associadas às condições ambientais e de crescimento, ao genótipo e à idade das árvores, das quais resultam gamas de valores de amplitude apreciáveis, as madeiras de fibra curta contêm geralmente menos lenhina e mais polissacarídeos e extrativos (Carvalho, 1999).

Tabela 1 – Composição química média de folhosas e resinosas, em percentagem ponderal (base seca).

	Folhosas	Resinosas
Celulose (% w/w)	45 ± 2	42 ± 2
Hemiceluloses (% w/w)	30 ± 5	27 ± 2
Lenhina (% w/w)	20 ± 5	30 ± 5
Extrativos e cinzas (% w/w)	5 ± 3	3 ± 2

Fonte: Ferreira, 2000

Celulose

O componente principal da madeira, a celulose, que constitui o esqueleto das fibras, é um homopolissacarídeo linear, de massa molecular elevada, não ramificado, constituído por unidades de β -D-glucopirranose, unidas entre si por ligações glucosídicas do tipo $\beta(1\rightarrow4)$. Como resultado destas ligações, a unidade elementar que se repete na macromolécula de celulose é um dissacarídeo – a celobiose, representada na Figura 18. Sendo todavia o número de moléculas de β -D-glucopirranose presentes que determina o grau de polimerização da celulose. Esta tem então como fórmula geral $(C_6H_{10}O_5)_n$, podendo n , que varia de acordo com a espécie, a natureza das células e a camada da parede, atingir valores médios da ordem de 10 000 nas fibras de madeira ou de 1 000 nas fibras de pasta (Carvalho, 1999) (Ferreira, 2000) (Biermann, 1996).

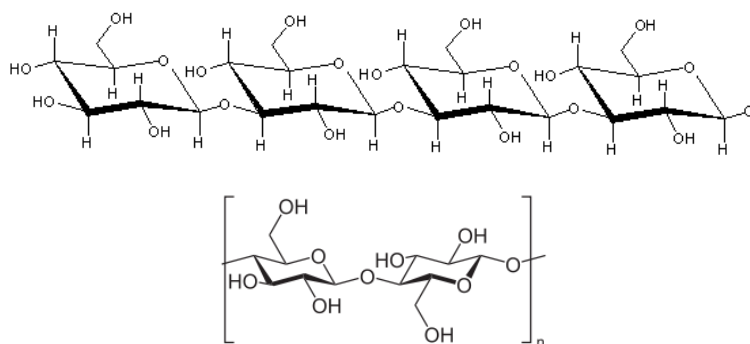


Figura 18 – Estrutura da molécula de celulose e da sua unidade representativa (celobiose).

Fonte: Química Nova, 2012

Os dois resíduos terminais da celulose diferem na sua reatividade química: um contém uma estrutura de hemiacetal cíclico, sendo designado por grupo terminal redutor, enquanto o outro inclui um grupo hidroxilo secundário adicional, sendo denominado grupo terminal não redutor (Carvalho, 1999) (IPT, 1988).

Numa estrutura tridimensional como a ilustrada na Figura 19, o monómero (glucose) adota uma conformação onde a molécula de celulose é completamente linear, estabelecendo ligações de hidrogénio no mesmo plano, quer intermoleculares, quer intramoleculares, e forças de Van der Waals entre diferentes planos. O primeiro tipo de interação é responsável por uma certa rigidez das cadeias unitárias e o segundo pela formação da fibra vegetal, isto é, o alinhamento das moléculas de celulose gera a formação de microfibrilas, apenas visíveis por microscopia eletrónica, que entretanto se agregam em aglomerados de macrofibrilas (ou simplesmente fibrilas), que por sua vez, se ordenam para formar as sucessivas paredes celulares da fibra.

Através de uma análise de raios-X verifica-se que as fibras são constituídas de regiões cristalinas, em que as moléculas de celulose estão altamente ordenadas, em orientação paralela ou antiparalela, e regiões amorfas, onde as fibras se encontram desordenadas. As zonas cristalinas são conhecidas como microcristalitos, cristalitos, protofibras e micelas, sendo nesta região que as fibras apresentam maior resistência à tração, ao alongamento e à solvatação. Nas zonas amorfas é onde as fibras apresentam a sua maior flexibilidade (Carvalho, 1999) (Ferreira, 2000) (IPT, 1988) (Santos & Falcão, 1980).

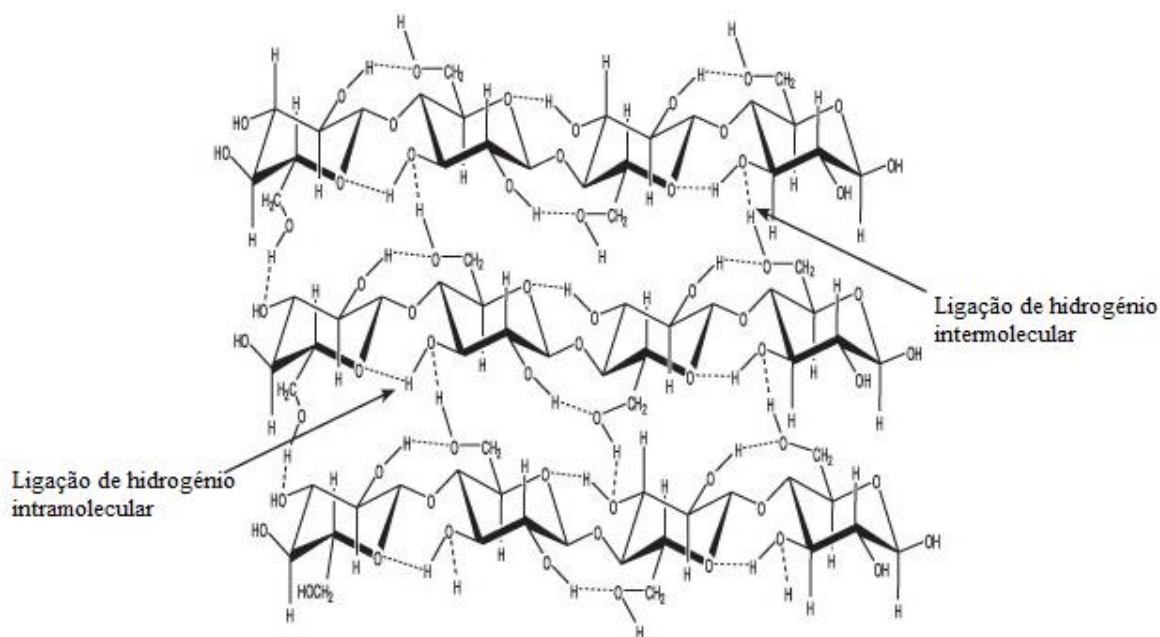


Figura 19 – Representação das ligações de hidrogênio na celulose.

Fonte: Química Nova, 2012

O grau de cristalinidade afeta naturalmente as propriedades químicas e físicas das fibras, que, por seu turno, influenciam as propriedades da pasta e do papel. Este, à semelhança do grau de polimerização, é diferente consoante a espécie, o tipo e também a idade dos tecidos, variando tipicamente entre 50 e 70%, aumentando com o cozimento devido à remoção preferencial de material amorfo e afetando significativamente as propriedades das fibras.

Tanto o grau de polimerização como o grau de cristalinidade são normalmente elevados, a celulose confere à fibra grande resistência estrutural e faz com que a sua flexibilidade, reatividade química e solubilidade sejam moderadas. Somente nas zonas mais amorfas, de maior acessibilidade química, ou então por ação de solventes muito fortes ou por degradação prévia da cadeia através de hidrólise alcalina, é possível solubilizar parcial ou totalmente a celulose.

Não obstante a existência de muitos grupos funcionais hidroxilo ($-OH$), a celulose é apenas moderadamente hidrofílica, dado por um lado aqueles estarem predominantemente envolvidos nas referidas ligações inter e intramoleculares e, por outro, ser impossível a penetração de água nas zonas cristalinas. Para o carácter hidrofílico da celulose contribui também, em menor extensão, o grupo terminal aldeído (Carvalho, 1999) (Ferreira, 2000) (Santos & Falcão, 1980).

Hemiceluloses

As hemiceluloses são macromoléculas que diferem da celulose por apresentarem uma estrutura aparentemente amorfa e cadeias mais curtas, geralmente ramificadas, sendo constituídas por vários tipos de unidades de açúcar, fundamentalmente hexoses (D-glucose, D-manose ou D-galactose), e pentoses (D-xilose ou L-arabinose). Os polímeros destes açúcares denominam-se hexosanas e pentosanas, respetivamente, e apresentam ligações glicosídicas maioritariamente do tipo $\beta(1\rightarrow4)$. Ocasionalmente, podem ainda ser encontrados, ainda que em pequenas quantidades, ácidos urónicos, deoxi-hexoses e grupos acetilo. Devido à sua estrutura complexa, apresenta-se em seguida na Figura 20 uma representação esquemática da hemicelulose.

O teor, a proporção relativa, o grau de polimerização e a razão molar entre as unidades de açúcar (polioses) variam com a espécie e, dentro da espécie, de árvore para árvore, com o tipo de células e com a localização na parede celular.

Assim, existem diferenças entre as hemiceluloses das resinosas e folhosas, quer ao nível da quantidade com que estão presentes na madeira (as folhosas têm teores mais elevados de hemiceluloses do que as resinosas), quer ao nível do tipo de açúcares que as constituem. Nas resinosas são a manose, a xilose, a glucose e a arabinose, os açúcares mais abundantes, formando-se essencialmente galactoglucomananas e arabinoglucuronoxilanas. Nas folhosas encontra-se em maior abundância a xilose, mas também, manose, glucose e galactose, formando-se principalmente glucuronoxilanas e, em muito menor escala, glucomananas.

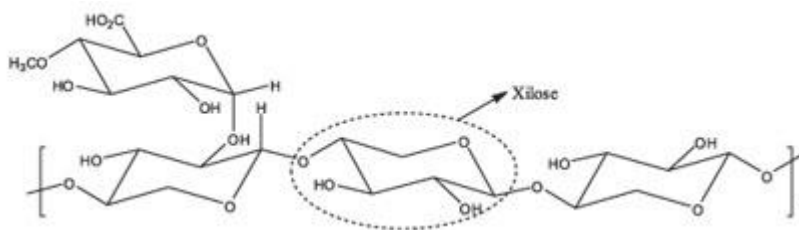


Figura 20 – Representação esquemática da hemicelulose.

Fonte: Química Nova, 2012

Devido às múltiplas ramificações das cadeias lineares, as hemiceluloses apresentam um elevado grau de amorfismo, o que, associado ao também elevado número de grupos funcionais, as torna não apenas facilmente acessíveis à ação de solventes como também à

degradação química. Na parede celular, as hemiceluloses exercem o papel de matriz de suporte, distribuindo-se facilmente em torno das microfibrilas de uma forma uniforme e homogênea (Carvalho, 1999) (Ferreira, 2000) (Biermann, 1996).

Contrariamente à celulose, as hemiceluloses são polímeros fortemente hidrofílicos, devido à sua estrutura não cristalina, que leva a que os grupos polares que a constituem se encontrem facilmente disponíveis para estabelecer ligações com as moléculas de água. Em consequência do intumescimento provocado pela fácil rutura das cadeias estruturais, a conformabilidade das fibras aumenta, traduzindo-se num forte aumento da superfície de ligação interfibrilar, originando um crescimento rápido do grau de refinação das pastas celulósicas e, consequentemente, papéis mais densos e com elevados índices de resistência mecânica (tração e rebentamento).

Estes fenómenos são tanto mais nítidos quanto maior o grau de polimerização das hemiceluloses e a quantidade presente à superfície das fibras. O facto da percentagem de hemiceluloses e da carga superficial das folhosas ser superior à das resinosas faz com que a sua capacidade de retenção de água também o seja (Santos & Falcão, 1980) (Carvalho, 1999).

Lenhina

O terceiro composto mais abundante nas células da madeira é a lenhina, uma cola fenólica criada pela árvore para manter as fibras unidas. A lenhina consiste num polímero aromático altamente ramificado, com um elevado peso molecular e com uma complexa estrutura tridimensional ainda não totalmente esclarecida, mas que se sabe ser constituída por unidades derivadas do fenilpropano, como ilustrado na Figura 21.

Estas unidades estabelecem entre si ligações covalentes aparentemente de modo aleatório, que à semelhança dos polissacarídeos já analisados, aparecem em diferentes proporções consoante a espécie, o tipo e a idade das células e a localização na parede celular. A profusão de ramificações e a diversidade de unidades precursoras e de ligações entre estas condicionam a reatividade química da lenhina e são também responsáveis pela sua estrutura amorfa (Carvalho, 1999) (Ferreira, 2000).

Situando-se fundamentalmente na lamela média, a lenhina, além de manter as células ligadas entre si, também confere simultaneamente rigidez à parede celular, gerando uma estrutura resistente ao impacto, à compressão e à dobra (Santos & Falcão, 1980).

As resinosas apresentam maior quantidade de lenhina do as folhosas. Em particular, nas resinosas, as unidades que se repetem na molécula de lenhina são predominantemente núcleos guaiacilo (G) – anéis de fenilpropano com apenas um grupo metoxilo ($-\text{OCH}_3$). Já nas folhosas a diversidade estrutural da lenhina é maior e existem núcleos guaiacilo mas também núcleos seringilo (S), havendo neste caso, dois grupos metoxilo. A razão G/S pode variar entre 4:1 e 1:2, consoante a espécie e o tipo de célula. Para além das diferenças estruturais entre a lenhina de resinosas e folhosas existem diferenças a nível da quantidade com que a lenhina está presente nos dois tipos de madeira (Carvalho, 1999) (Silva M. E., 2010).

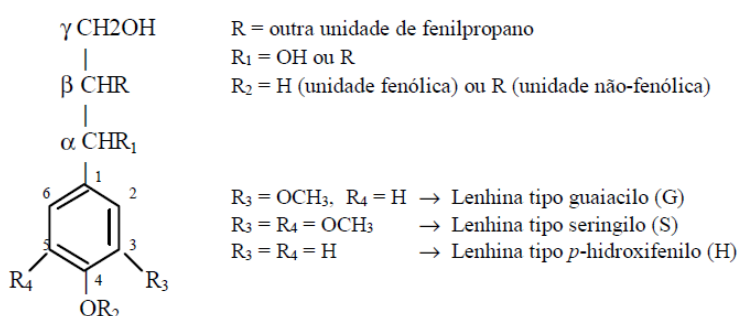


Figura 21 – Fórmula geral de uma unidade derivada do fenilpropano e ligações prováveis entre unidades.

Fonte: Carvalho, 1999

Contrariamente à celulose e hemicelulose, a lenhina é um composto predominantemente hidrofóbico, devido ao reduzido número de grupos polares hidroxilo. Assim, prejudica duplamente o estabelecimento de ligações fibra-a-fibra na formação do papel: por um lado, se não convenientemente removida durante o cozimento e o branqueamento, mantém as fibras e as fibrilas de celulose unidas entre si; por outro, dificulta o intumescimento, o que se reflete negativamente na refinação e na formação da folha. É, ainda, um polímero termoplástico, insolúvel e muito pouco reativo, exceto sob condições de ataque químico extremas ou na presença de enzimas (Carvalho, 1999) (Ferreira, 2000).

2.3. Obtenção da Pasta

Como referido anteriormente, as fibras encontram-se ligadas entre si por uma substância incrustante (lenhina), formando uma estrutura perfeitamente coesa. Para as

separar é necessário fornecer energia mecânica e/ou química, obtendo-se o que se designa por “pasta” (Carvalho, 1999).

Existem quatro grandes categorias de processos para obtenção de pasta: químico, semi-químico, químico-mecânico e mecânico. Estes estão classificados em ordem crescente de consumo de energia e redução de consumo de reagentes químicos. As características da pasta sofrem reflexo significativo mediante o tipo de processo utilizado na sua obtenção; assim pastas químicas diferem em muito das pastas mecânicas (Biermann, 1996) (Andrade, 2006).

Os processos químicos são os mais comuns para a obtenção de pastas papéis (representando mais de 70% da totalidade dos processos a nível europeu), seguidos dos processos mecânicos e semi-químicos (que correspondem a mais de 27%) (Carvalho, 1999) (CELPA, 2014). O rendimento em pasta (massa de pasta/massa de madeira consumida), bem como as propriedades, são função do teor de lenhina remanescente e do processo utilizado na desagregação das fibras – em geral, as fibras apresentam maior aptidão papéis, nomeadamente no que respeita às propriedades de resistência, após remoção da maior parte da lenhina, uma vez que esta limita a capacidade de ligação entre as fibras (Carvalho, 1999).

2.3.1. Processos Mecânicos

Nos processos puramente mecânicos (PM), os toros de madeira, neste caso preferencialmente coníferas, são sujeitos a tensões de corte intensas contra um rolo giratório cuja superfície é coberta por um material abrasivo, libertando as fibras da estrutura lenhosa, obtendo-se, como resultado, uma pasta constituída por fibras individualizadas, feixes de fibras e fibras danificadas, denominada “pasta mecânica” (*groundwood*), podendo-se alcançar um rendimento que varia de 93 a 98 % (Biermann, 1996) (Carvalho, 1999).

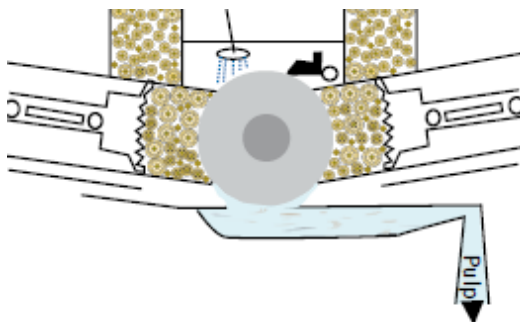


Figura 22 – Imagem ilustrativa de um processo termomecânico.

Fonte: SCA, 2010

Ao longo dos anos vários foram os métodos desenvolvidos para melhorar a qualidade das pastas mecânicas, entre eles destacou-se o processo termomecânico (TMP), em que a desfibração mecânica é facilitada, pelo amolecimento do material incrustante na presença de vapor de água a temperaturas elevadas (110-130°C), o que em relação aos processos puramente mecânicos implica um menor consumo de energia e uma menor deterioração das fibras, exemplificado na Figura 22. O processo termomecânico é normalmente realizado em duas fases de refinação, na primeira, os refinadores encontram-se a elevadas temperaturas e pressão para promover a libertação da fibra; na segunda fase, os refinadores à temperatura ambiente tratam as fibras para ficarem aptas para formação da folha. A elevada temperatura durante a primeira fase de refinação amolece as fibras, permitindo a sua recuperação com o mínimo de danos. A refinação ocorre mesmo abaixo da temperatura de transição vítrea da lenhina (aproximadamente 140°C), portanto a separação das fibras ocorre na camada S1 da parede celular. Apesar da dissolução na água de alguns componentes da madeira, os principais constituintes químicos permanecem inalterados, pelo que o rendimento no processo termomecânico é um pouco menor do que no processo mecânico (91 a 95%). No entanto, as pastas resultantes possuem melhor qualidade, pois proporcionam maior resistência mecânica e melhor qualidade de impressão (Bajpai, 2012) (Biermann, 1996) (Carvalho, 1999) (SCA, 2010).

Assim, não é possível uma separação completa das fibras com este tipo de processo, obtendo-se uma pasta barata, cuja aplicação é limitada, pois o papel produzido a partir dela é pouco resistente e tende a amarelecer rapidamente, mesmo depois de passar pela etapa de branqueamento, em consequência da oxidação do alto teor de lenhina residual e da grande quantidade de fibras danificadas. Estes processos não são recomendados para o processamento de fibras curtas e, além disso, acarretam um consumo

elevado de energia. A pasta mecânica pura, ou em composição com outra, é muito usada para a fabricação de papel para jornal, revistas, embrulhos, entre outros (Biermann, 1996) (Canavarro, 1985) (Carvalho, 1999) (Navarro, Navarro, & Tambourgi, 2007).

2.3.2. Processos Químicos

Os processos químicos incluem o que vulgarmente se designa por “cozimento”, etapa onde se promovem as reações de degradação da lenhina por utilização de um licor de cozimento (solução aquosa alcalina ou ácida), a temperaturas e pressões elevadas, sendo os produtos das reações dissolvidos no licor. A duração do cozimento depende do grau de separação das fibras sem recurso adicional a energia mecânica. Apesar de serem considerados específicos para a remoção da lenhina (e, por isso, designados por “processos de deslenhificação”), estes processos, são, todavia, acompanhados de degradação e consequente solubilização, de parte dos outros constituintes das fibras (em média perde-se cerca de 10% da celulose e 50% das hemiceluloses originais), revertendo-se em rendimentos baixos, entre 40 a 60%, dependendo das condições de cozimento e das características originais da fibra (Carvalho, 1999). A Figura 23 mostra-nos a diferença das fibras submetidas a um processo mecânico e a um processo químico.

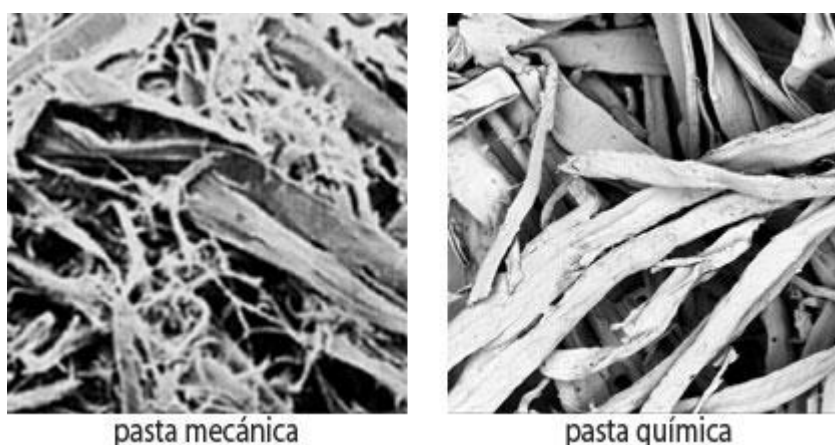


Figura 23 – Diferença entre a celulose submetida a um processo mecânico (à esquerda) e a um processo químico (à direita).

Fonte: Umberto Klock, 2013

A utilização de processos alcalinos ou ácidos origina naturalmente processos de cozimento distintos, dependendo dos agentes usados na deslenhificação, os processos podem ser classificados em alcalinos, em que os principais são o processo à soda, ao sulfato e *kraft*; ou ácidos usando estes o processo ao sulfito ou bissulfito (Carvalho, 1999) (Barrichelo & Brito, 1979).

O “processo à soda”, o primeiro processo alcalino a ser utilizado, possui esta designação devido ao uso de carbonato de sódio (soda) para repor os compostos químicos perdidos durante o processo, embora seja o hidróxido de sódio o reagente químico que efetivamente atua sobre os constituintes da madeira. Este processo, inaplicável à fibra curta pela sua agressividade, também não é economicamente vantajoso quando aplicado a resinosas, devido aos prolongados tempos de cozimento que estas requerem, razão pela qual foi progressivamente substituído pelo “processo ao sulfato” (Biermann, 1996) (Carvalho, 1999).

O “processo ao sulfato”, à semelhança do processo à soda, possui esta designação devido ao uso de sulfato de sódio para a reposição dos reagentes químicos perdidos. Este processo ao utilizar como agentes ativos o hidróxido de sódio e o sulfureto de sódio, que formam um licor branco, proporcionam rendimentos mais elevados e pastas de qualidade superior relativamente ao processo à soda. O papel mais efetivo do sulfureto, no que respeita à deslenhificação, permite a utilização de condições menos drásticas no cozimento, o que, por seu turno, reduz a degradação do material celulósico. Para além disso, este processo permite uma maior flexibilidade em relação ao tipo de madeira utilizada, sendo todavia, as folhosas mais facilmente deslenhificadas do que as resinosas, por razões que se prendem fundamentalmente com a composição química e estrutural deste tipo de madeira (Carvalho, 1999) (Tecnicipa, 2001) (Bajpai, 2012) (EPA, 2010).

O processo ao sulfato é frequentemente denominado “processo *kraft*”, designação que provém da maior resistência físico-mecânica das pastas assim produzidas (*kraft* significa “resistente em alemão e sueco”). No processo *kraft* são utilizados os mesmos produtos químicos do processo ao sulfato, porém as condições são menos rígidas, isto é, emprega-se sulfato de sódio em menor quantidade, além do cozimento ser feito em menor tempo e com temperaturas menos elevadas. Tal como no TPM, os toros descascados são cortados em aparas e lavados antes de passar para a fase de produção de celulose. As aparas são introduzidas num digestor. O licor branco é introduzido para dissolver a lenhina

que liga as fibras, libertando-as umas das outras e preservando a sua resistência. O processo é apoiado por meio do aumento de temperatura no digestor entre 160 a 180°C e um pH próximo de 12. A celulose é depois crivada para remover os feixes fibrosos que não foram separados, e posteriormente lavada para retirar quaisquer vestígios de químicos, areia e brita fina. Os agentes químicos utilizados, licor negro, são depois reciclados, passando a um licor verde, para posterior reutilização no processo. Obtém-se, dessa maneira, uma pasta forte, com rendimento entre 50 a 60%, muito empregada para a produção de papéis cuja resistência é o principal fator, como papéis para sacos, tubos, caixas e variadas embalagens de cartão. Apesar de 90% das pastas químicas produzidas mundialmente serem pastas *kraft*, este processo apresenta, todavia, alguns aspectos negativos, tal como a emissão, mesmo em pequenas quantidades, compostos sulfurosos de odor desagradável (mercaptanos e gás sulfídrico) e altos custos de investimento. No entanto, estas desvantagens têm sido minoradas ao longo das últimas décadas através do melhoramento dos processos de cozimento e da recuperação de químicos (Biermann, 1996) (Carvalho, 1999) (EPA, 2010) (SCA, 2010).

Nos processos ácidos, vulgarmente conhecidos por “processos ao sulfito” (sulfito ácido e bissulfito), a lenhina é solubilizada pela ação do ácido sulfuroso e do ião bissulfito na presença duma base (Na^+ , NH_3^+ , Mg^{2+} , K^+ ou Ca^{2+}), cuja utilização depende do pH do meio. O processo do sulfito utiliza dióxido de enxofre dissolvido em água para produzir um meio ácido para auxiliar a repartir a lenhina. Sendo primeiramente o licor de cozimento preparado por queima do enxofre num ambiente controlado para produzir o dióxido de enxofre. A reação não só reparte a lenhina em fragmentos mais pequenos como origina ácidos lignosulfônicos, que podem ser dissolvidos da madeira na presença duma base. Tradicionalmente, devido ao seu baixo custo, era usado o cálcio como base, no entanto, este para além de não ser recuperável, causa a formação de sedimentos e incrustações indesejáveis nos tanques e tubagens. À semelhança do processo *kraft*, também o processo ao sulfito utiliza pressões e temperaturas elevadas, entre os 120 e 150°C. As pastas ao sulfito são mais claras, permitindo o seu uso sem branqueamento, obtendo-se um rendimento entre 40 e 60%. Além disso, possuem melhores propriedades óticas e são facilmente regináveis mas, em contra partida, apresentam longos ciclos de cozimento, e assim, resistências mecânicas cerca de 50% inferiores às das pastas ao sulfato. Outra desvantagem é a limitação destes processos ao uso de madeiras com elevados conteúdos de

compostos resinoso, como algumas coníferas, assim como, a presença de casca. Adicionalmente, a remoção de dióxido de enxofre produzido nos processos ácidos, cujas emissões para a atmosfera podem dar origem a localmente chuvas ácidas, é difícil e dispendiosa. Em virtude destes problemas de poluição e recuperação, a pasta ao sulfito é menos favorecida do que a do sulfato, encontrando-se em pleno declínio, representando apenas 10% do total de pasta produzida (Biermann, 1996) (Canavarro, 1985) (Carvalho, 1999) (EPA, 2010) (Navarro, Navarro, & Tambourgi, 2007).

2.3.3. Processos Semi-Químicos

A maior parte dos papéis é feita com misturas de diferentes tipos para garantir ao produto final a combinação ótima de características, ao mais baixo custo. Entre os processos mecânicos e químicos existem os processos semi-químicos, também designados por “*high yield*” (elevado rendimento), que recorrem a mesclas de tratamentos mecânicos e químicos, a Figura 24 mostra o resultado das fibras quando submetidas a diferentes tipos de processos. Com estes processos mistos obtêm-se pastas quase tão resistentes como as *kraft* ou tão claras de tom como as mecânicas. Assim, neste tipo de processos os rendimentos situam-se entre os 50 e os 90% dependendo da percentagem e extensão do tratamento químico.

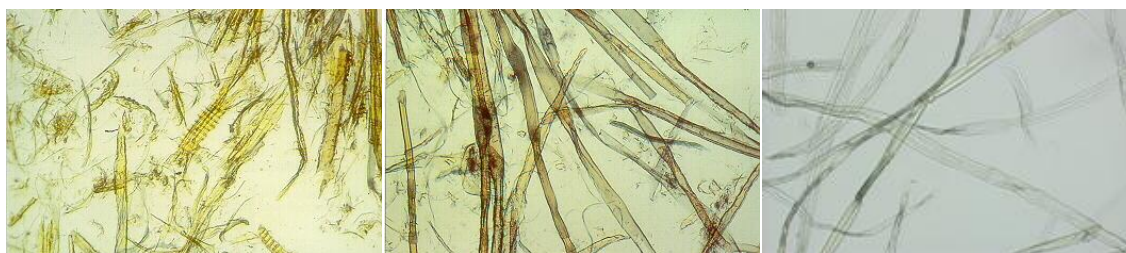


Figura 24 – Resultado da separação das fibras num processo mecânico (à esquerda), num processo químico-termo mecânico (ao centro) e num processo químico-mecânico (à direita).

Fonte: Umberto Klock, 2013

Primeiramente as aparas de madeira são parcialmente amolecidas num digestor com químicos e vapor de água a pressão e temperatura elevadas, sendo todavia, menores comparativamente aos processos químicos. Depois de amolecidas são submetidas a uma refinação mecânica moderada. A pasta é lavada depois da digestão para a remoção do licor

de cozimento e dos componentes orgânicos dissolvidos, sendo esta etapa, assim como, a porção de agentes químicos utilizados, muito similar ao processo sulfito e *kraft*. Esta pasta virgem pode ser misturada com 20 a 35% de fibras secundária ou recuperada com o intuito de aumentar a sua usinabilidade (Biermann, 1996) (Canavarro, 1985).

A mais comum destas pastas é conhecida por NSSC (*Neutral Sulfite Semi Chemical Pulp*), muito utilizada no fabrico de papel para ondular (*corrugating medium*), devido à rigidez inerente no papel fabricado por estas pastas, característica muito importante no cartão canelado, que se deve a uma presença residual de lenhina na pasta (15-20%). A lenhina remanescente na pasta ainda que em baixa quantidade prejudica a recuperação dos químicos do processo. O licor de cozimento neste caso consiste numa mistura de sulfito de sódio e carbonato de sódio a um pH entre 7 e 10, em que a temperatura de cozimento pode variar entre 160 e 185°C. Neste tipo de processo são utilizadas maioritariamente fibras curtas de folhosas, sendo a pasta resultante tão resistente como a pasta proveniente de espécies resinosas e superando a pasta *kraft* de folhosas. Podem, ainda, ser utilizados aditivos de antraquinona ao processo com o intuito de melhorar as propriedades da pasta ou aumentar o rendimento, que se situa entre 75 e 85% (Biermann, 1996) (Canavarro, 1985) (EPA, 2010).

2.4. Branqueamento da Pasta

As pastas obtidas, após lavagem e crivagem, quer pelos processos químicos, quer pelos mecânicos, designadas por “pastas cruas”, apresentam uma cor acastanhada devida à presença de grupos cromóforos (na sua maioria provenientes da lenhina residual), sendo o processo *kraft* o que induz o maior número destes grupos, em consequência do elevado valor de pH. As pastas cruas são normalmente utilizadas tal qual o fabrico de papéis de embalagem, mas têm de ser “branqueadas” quando o objetivo é a produção de papéis brancos. O branqueamento, como o próprio nome indica, tem como finalidade aumentar a brancura da pasta por oxidação dos grupos cromóforos remanescentes e/ou por degradação e dissolução das unidades moleculares que os contêm. Os reagentes utilizados para esse efeito (mais seletivos que os do cozimento) são bastante dispendiosos, pelo que o

cozimento deve ser prolongado de forma a eliminar a maior quantidade de lenhina, sem contudo, originar a degradação acentuada dos componentes celulósicos.

O branqueamento é mais eficiente quando realizado por etapas sucessivas, isto é, utilizando alternadamente compostos químicos oxidantes, para degradar e/ou descorar a lenhina residual (estágios de oxidação), e compostos alcalinos, que contribuem para a sua dissolução e consequente remoção (estágios de extração). A Figura 25 exemplifica um processo de branqueamento numa fábrica de celulose.

A primeira etapa do branqueamento é normalmente considerada como uma continuação da deslenhificação que tem lugar no cozimento, removendo 80 a 85% da lenhina ainda existente na pasta crua.

O branqueamento nas pastas químicas é diferente do aplicado às pastas mecânicas, tendo em conta que as pastas obtidas por via química e mecânica possuem diferenças consideráveis entre si, apresentado até nomes diferentes para uma melhor distinção, *brightness* no caso das pastas químicas e *brightening* para as pastas mecânicas.

Posto isto, o branqueamento nas pastas mecânicas é alcançado com o mascaramento da lenhina presente, em vez da sua remoção, como acontece no branqueamento de pastas químicas. Visto a lenhina ser em grande parte apenas descolorada mas não removida, no caso de pastas mecânicas, existe apenas uma pequena diminuição do rendimento do processo. Por outro lado, é compreensível que se alcancem níveis de brancura mais elevados em pastas químicas (70-92%) do que em pastas de origem mecânica (60-70%).

Para ambos os casos, o número de estágios, a quantidade e natureza dos reagentes químicos aplicados em cada estágio e as condições



Figura 25 – Exemplo dum processo de branqueamento da celulose.

Fonte: SCA, 2010

operatórias devem ser otimizados de modo a atingir a brancura desejada a um custo mínimo e de modo a preservar as propriedades papéis de fibra (Biermann, 1996) (Carvalho, 1999) (Suess, 2010) (Tecnicepa, 2001).

2.5. Processo de Fabrico

Como referido anteriormente, a Prado Karton tem como principal atividade industrial a produção de cartão multiplex, localizando-se numa zona mista, ou seja, urbana, industrial e rural, de modo a estar perto de água em abundância e ao mesmo tempo afastada da população, situando-se num local de fácil acesso de modo a facilitar os serviços de logística.

O processo geral de produção de cartão da Prado Karton pode ser resumido no diagrama de blocos que se apresenta de seguida na Figura 22. De referir que, dependendo das características pretendidas para o produto final, o fabrico da folha pode apresentar ligeiras variações na sua organização consoante a fábrica produtora em questão.

Primeiramente é realizada a desintegração da suspensão fibrosa, sendo em seguida bombeada para o tanque de massa desintegrada, onde permanece em agitação permanente. Depois a massa é sujeita a um processo de purificação de alta consistência para extração dos contaminantes que por ventura albergue. Consoante o tipo de matéria-prima, a massa é refinada ou sujeita novamente a nova fase de depuração, sendo posteriormente encaminhada para o tanque de máquina onde é homogeneizada, pela ajuda de agitação. Após o ajustamento da consistência e do grau de refinação e depuração realizado por um funcionário com ajuda computadorizada é feita a alimentação aos formadores (formas). Esta é depois sujeita a um processo de prensagem, secagem e, por último, de calandragem, para uniformização da superfície e controlo de espessura, sendo, finalmente enrolada em bobinas. Nos acabamentos estas bobinas são rebobinadas para as dimensões pretendidas podendo seguir para o cliente embaladas em forma de bobina ou em folhas.

É feita, de seguida, uma abordagem mais detalhada para cada uma destas etapas chave que no seu todo constituem o processo de fabrico do cartão.

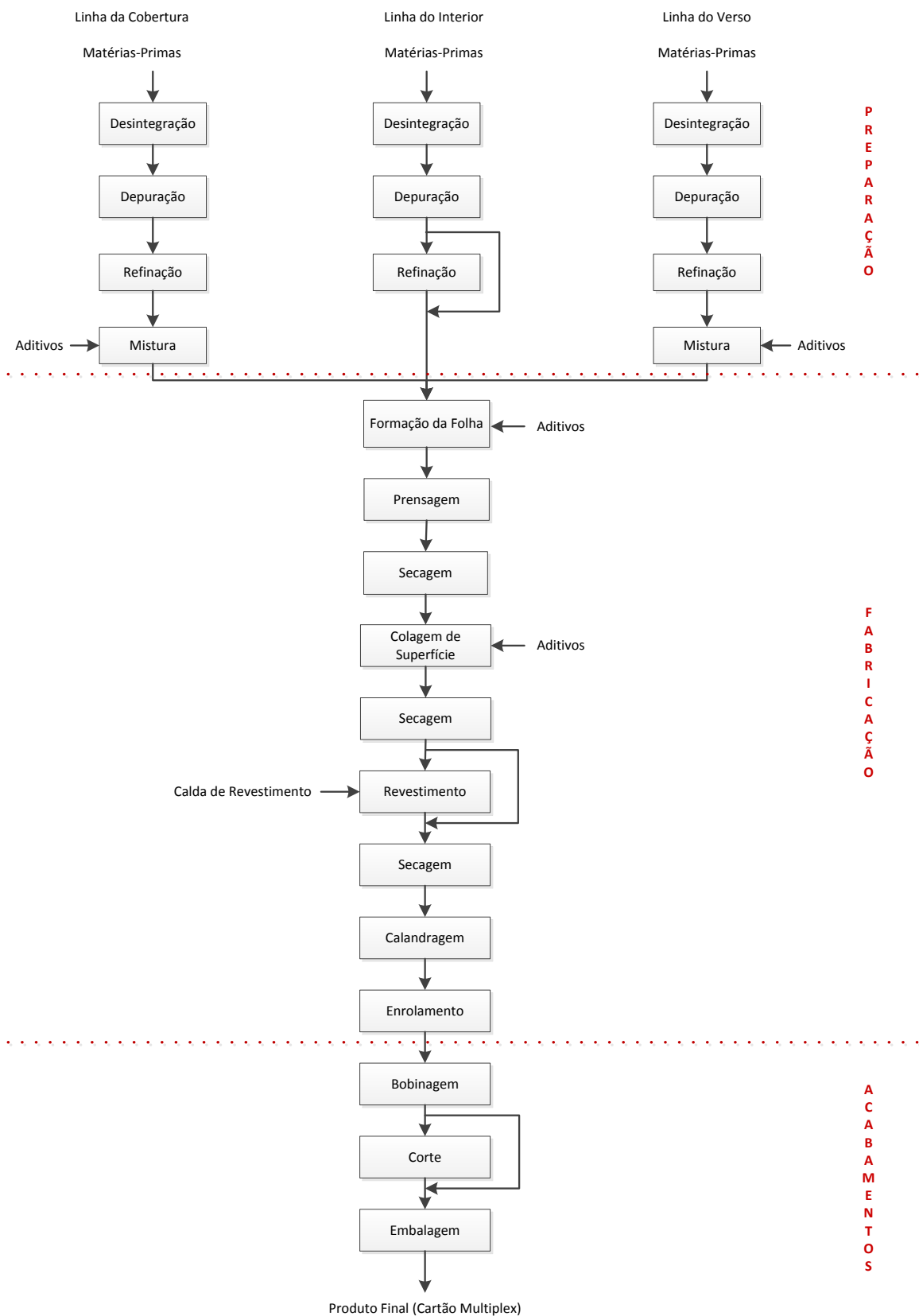


Figura 26 – Diagrama de Blocos do Fabrico de Cartão Multiplex.

Fonte: Prado Karton

2.5.1. Desintegração

A primeira etapa no processo de fabrico de papel é a preparação da suspensão fibrosa que é utilizada na máquina de fabrico, que pode ser designada por desintegração ou desfibrilação. As fibras podem chegar à instalação de preparação diretamente da fábrica de celulose (fábrica integrada), em suspensão, com uma consistência de 3 a 6% ou até 12% (fábrica adjacente) ou, na forma mais comum e normal, sob a forma de folhas enfardadas, com uma secura de cerca de 90%. Todavia, independentemente da forma como chegam, o primeiro passo na sua preparação consiste em formar uma suspensão de fibras em água com a consistência adequada.

Inicialmente esta etapa era satisfatoriamente desempenhada pelo chamado “*beater*”, mas a sua lentidão tornou-se incompatível com os níveis de produção exigidos pelas máquinas modernas, sendo substituído pelo “*pulper*”, Figura 27.



Figura 27 – Exemplo de um *pulper*.

Fonte: MTR Martco

Este desintegrador consiste num tanque de grandes dimensões com um rotor no centro que roda a diferentes velocidades, consoante o desejado, realizando com esse movimento uma desintegração dos blocos, resmas ou qualquer que seja a forma de papel adicionada no *pulper*. Por baixo do rotor existe uma câmara de admissão coberta com uma placa perfurada através da qual passa a suspensão já desagregada sendo, então, encaminhada para o tanque de massa desintegrada.

Para finalizar a descrição do processo de desintegração, é de salientar que é preferível a desfibrilação não contínua, sendo utilizado o *pulper* com pastas de qualidades

diferentes, armazenadas em tinões separados (Biermann, 1996) (Canavarro, 1985) (Carvalho, 1999) (Smook, 2002).

2.5.2. Refinação

A refinação é considerada por muitos a fase mais importante no processo de produção de papel, afirmando que é aqui, neste passo, que o papel é realmente feito.

A refinação consiste basicamente na exposição das fibras, em solução aquosa, a uma ação intensiva de tensões de corte que rompe parcialmente a estrutura da fibra individual, levando à fibrilação (interna e externa). Esta fibrilação facilita a entrada de água na parede da fibra (*swelling*), aumenta a área de exposição dos grupos hidroxilo responsáveis pelas ligações fibra-fibra e diminui a rigidez da fibra melhorando a sua conformabilidade (flexibilidade e colapsabilidade). Em suma, a aplicação da força mecânica nesta fase pretende incutir às fibras três resultados: hidratação (intumescimento), fibrilação e corte. No conjunto, estes fenómenos fazem aumentar a capacidade de ligação interfibras resultando um papel com maior resistência mecânica, mas, por outro lado, diminuem os valores das propriedades óticas, pelo que a seleção do nível de refinação será um fator importante a ter em conta, mediante, naturalmente, as características a conferir ao papel (Bajpai, 2012) (Biermann, 1996) (Canavarro, 1985) (Carvalho, 1999).

Contudo existem outros fatores que influenciam fortemente a refinação, entre eles temos o processo de cozimento das pastas, a temperatura, o pH, a consistência, a velocidade de rotação e a potência aplicada.

No caso do processo de cozimento das pastas, se compararmos as pastas de sulfato com as de sulfito, as primeiras são mais difíceis de refinar, uma vez que mantêm na sua substância uma maior pressão de lenhina, levando a uma hidratação mais difícil. Todavia, são mais resistentes porque as suas cadeias celulósicas sofreram menor degradação.

A refinação, por ser um processo mecânico, transforma parcialmente a energia mecânica em energia térmica, sendo aumento de temperatura deletério para a eficiência da refinação, não sendo aconselhável refinar a mais de 50°C.

Quanto ao pH, de uma maneira geral, este deve situar-se entre 7 e 8 durante a refinação, para a obtenção melhores rendimentos. A fim de minimizar este problema os aditivos a adicionar são acrescentados depois da refinação.

Antes de a pasta aos refinadores a pasta passa através de reguladores de consistência, que medem a viscosidade ou a resistência da pasta a circular. Este é um fator importante pois através dele pode determinar-se a porção de corte que pretendemos dar às fibras. Ou seja, a baixa consistência da pasta favorece a operação do corte das fibras, sendo portanto a escolhida quando se trabalha com fibras compridas. Já na alta consistência, as fibras tende a formar agregados sobre as lâminas dos refinadores originando mais uma ação de esmagamento (*crushing*) do que propriamente de corte.

Relativamente à velocidade de rotação e potência aplicada estas influenciam naturalmente a refinação, razão pela qual têm de ser adaptadas às diversas situações consoante o tipo de produto desejado, tentando, ao máximo, consumir o mínimo de energia possível. Assim, apesar de velocidades mais elevadas favorecerem a fibrilação e reduzirem a frequência de corte das fibras, também levam a um maior consumo de energia (Canavarro, 1985).

O material não-fibroso adicionado à pasta após a refinação (cargas minerais, agentes de retenção e de colagem, amido, branqueadores óticos e corantes) têm como objetivo melhorar o posterior processamento das fibras e/ou conferir propriedades específicas ao produto final. Estes compostos são em geral dispendiosos e alguns deles contribuem para a diminuição da resistência da folha, pelo que a sua dosagem é função do melhor equilíbrio técnico-económico (Carvalho, 1999).

A refinação, no caso da Prado Karton, é feita num refinador de discos duplos, ilustrado na Figura 28, em que ambos os discos rodam em sentidos opostos, aumentando assim a ação sobre as fibras. A suspensão fibrosa é bombada para o centro dos discos fluindo depois pelas ranhuras destes, submetendo as fibras a um processamento mecânico.

Pode determinar-se laboratorialmente a extensão deste processo, parâmetro conhecido como grau de refinação, com a utilização de um aparelho designado por Shcopper-Riegler. O método baseia-se no escoamento de uma suspensão de fibras com um determinado volume e concentração através de uma polpa que se vai formando sobre uma malha metálica, medindo-se depois o volume de água que passa através da polpa, sendo

depois esse valor convertido em graus S.R., tendo-se assim uma ideia aproximada do estado da pasta em termos de drenabilidade.



Figura 28 – Refinador de discos duplos.

Fonte: Voith

O grau de refinação, a quantidade e natureza das cargas e aditivos e a percentagem de outras fibras são, obviamente, dependentes da aplicação que se pretende dar ao produto final, assim, a refinação de uma pasta deve ser conduzida tendo em consideração o compromisso entre os ganhos de resistência mecânica das folhas (à custa da perda de resistência das fibras), a perda de opacidade e de porosidade e, naturalmente, os custos operacionais associados. (Canavarro, 1985) (Carvalho, 1999) (Ferreira, 2000) (Smook, 2002).

2.5.3. Crivagem e Depuração

Estas duas ações são também de extrema importância para a qualidade final do papel, visto ser nesta fase que são removidas as impurezas incorporadas na suspensão fibrosa, podendo até causar danos na própria máquina. Estas impurezas podem ser de várias origens, como areias e brita fina, no caso de não ter sido totalmente eliminada no processo de lavagem da matéria-prima, plásticos, sujidade adquirida no processo de obtenção da pasta, no transporte e até mesmo no seu manuseio, entre muitas outras. Para expulsar estas impurezas, antes de chegar à máquina de papel, são realizados processos de crivagem e depuração.

A crivagem tem como objetivo separar as impurezas, selecionando-as pelo seu tamanho. Ou seja, a suspensão é obrigada a passar por um crivo que consiste fundamentalmente, numa placa de metal com orifícios perfurados de maneira a que sejam mais largos no fundo do que no topo para evitar entupimentos. Para aumentar a eficiência do seu funcionamento este é submetido a pressão, que pode em alguns casos, ser substituída pela pulsação da pressão do caudal.

Como é evidente o crivo faz a triagem dos materiais, removendo as partículas por tamanhos e não por pesos, onde as partículas pequenas têm grande probabilidade de passar e as grandes ficarão na sua maioria retidas (Canavarro, 1985) (IPT, 1988).

É após esta fase que entra a depuração, que tem por base a separação das impurezas pelo seu peso específico, isto é, todas as partículas que possuam um peso específico superior ao das fibras são removidas por depuradores centrífugos. Neste tipo de depuradores os materiais são triados com base na gravidade específica, em que a suspensão fibrosa entra tangencialmente pelo topo, sob pressão, provocando um movimento de rotação interna (vórtice), gerando uma força centrífuga que retira, por diferença de densidade, todas as impurezas ou contaminantes mais pesados que as fibras, obrigando-os a descer, enquanto as fibras e, impurezas de baixo peso remanescentes, subam de maneira a sair por um orifício situado na parte de cima. Naturalmente, tanto a abertura do topo como no fundo do depurador têm de estar devidamente calibradas de acordo com as tolerâncias de passagem para cada uma (Abrantes, 2011) (Canavarro, 1985) (IPT, 1988) (Tecnicipa, 2001).

Torna-se assim evidente, que mesmo com um equilíbrio perfeito (rácio eficiência-rejeição), é difícil impedir totalmente que sejam rejeitados materiais aproveitáveis, pois para obter uma eficiência de 100%, eliminando todas as partículas indesejáveis, isso implicaria um elevado grau de rejeição de todos os materiais, incluindo as fibras. Assim, para elevados níveis de produção, é aconselhável trabalhar com baixos graus de rejeição, mantendo ao mesmo tempo, um nível aceitável de remoção de materiais impróprios para o fabrico.

Este problema é normalmente ultrapassado pelo recurso a diversos depuradores em paralelo, de modo a repartir o caudal e a possibilitar a reciclagem dos rejeitados (Canavarro, 1985).

2.5.4. Formação da Folha

A pasta, passando todas as operações anteriormente descritas, chega finalmente à máquina de fabrico, propriamente dita. Apesar de variar consoante o tipo de papel a produzir, a pasta é, em geral, composta por 99% a 99,5% de água, ou seja, comportando uma consistência entre 1 a 0,5% (Bajpai, 2012) (Canavarro, 1985) (Carvalho, 1999).

A distinção entre as várias máquinas de fabricar papel assenta essencialmente na conceção da parte húmida. Basicamente existem dois tipos distintos de seção de formação: a mesa plana ou de Fourdrinier, excelente na produção de papéis leves, e a forma redonda ou tambor rotativo, destinada à produção de papéis pesados ou cartões.

Nesta fase, a suspensão diluída é distribuída, o mais uniformemente possível, sobre uma tela, onde a maior parte da água é drenada e os materiais sólidos retidos, formando a folha de papel bruta (*web*) (Canavarro, 1985) (Carvalho, 1999).

Depreende-se, portanto, que o requisito principal no sistema de formação é o de produzir uma folha que possua distribuição uniforme das fibras. Para alcançar isso as fibras devem ser uniformemente dispersas na suspensão, que por seu turno, deve ser enviada para o setor de formação como uma película uniforme, para isso, deve trabalhar-se com a consistência mais baixa possível. No entanto, baixas consistências implicam maior quantidade de água e, conseqüentemente, um problema para a posterior drenagem. A otimização será portanto, a de trabalhar com uma consistência compatível com o binómio custo-qualidade. A uniformidade é evidentemente o principal problema, pois, é o que se pretende na espessura da folha à largura total da máquina.

A máquina de formas redondas adquiriu este nome devido à tela formadora envolver a superfície de um cilindro. Com um máximo de nove formas, cada forma redonda possui uma função pré-determinada na formação da folha, isto é, cada uma origina uma das camadas do cartão a produzir, que serão unidas entre si em estado húmido, antes da prensagem (Canavarro, 1985) (Sékula, 2011).

No caso da Prado Karton, esta possui como referido anteriormente uma máquina “Bruderhaus” (alemã), com uma largura útil de 2,46 m e sete formas redondas (Figura 28). A maior vantagem desta máquina é a de se poder utilizar diferentes tipos de pasta em cada forma. Assim, o cartão produzido na Prado Karton é composto por três camadas de distinta composição fibrosa, a cobertura, o interior (composto por 5 camadas) e o verso. No caso de

o cartão desejado ser revestido, sobre a camada da cobertura é aplicado um revestimento, sendo este processo realizado em máquina.



Figura 29 – Formação da folha numa máquina de formas redondas (Prado Karton).

Fonte: Própria

Por norma, a camada da cobertura é composta por pasta virgem, pois necessita de possuir melhores propriedades mecânicas, óticas e de relação tinta-papel, de forma a dar ao cartão um aspeto mais favorável à impressão e com maior impacto comercial. Já a camada do interior, de cor, normalmente, parda e acinzentada, que serve de base do cartão (*chipstock*), pode não ser de “origem nobre”, suportando a introdução de papel reciclado na sua constituição. Quanto ao verso, a sua matéria-prima varia consoante o tipo de cartão a produzir, podendo apresentar cor cinzenta, derivada do papel reciclado, ou a cor branca, proveniente de pasta virgem (Prado Karton, 2011).

A utilização de diversos tipos de pasta no mesmo cartão dá origem à nomenclatura “*Combination Boxboard*”, isto é, a combinação de uma boa superfície exterior (com boa aptidão à impressão) com uma base resistente, desejável ao fabrico de embalagens (Canavarro, 1985).

2.5.5. Prensagem

Depois de estabelecida a formação da folha, esta avança para a seção de prensagem da máquina de papel, que para além de reduzir o seu volume específico e melhorar a lisura da folha, tem como objetivo principal a remoção máxima de água, antes de ser submetida ao aquecimento. O setor da prensagem é responsável pelo aumento da resistência da folha

no estado húmido, aumentando o teor de sólidos sem danificar o entrelaçamento das fibras, retirando apenas o líquido recluso pela porosidade das fibras (Canavarro, 1985) (IPT, 1988) (Sékula, 2011).

A folha de papel (*web*), que ainda tem um elevado conteúdo de água, entre 80 e 85%, passa entre três prensas planas e uma prensa de nip largo, que exercem uma compressão na folha de forma a esta libertar a água em excesso e facilitar a ligação entre as diversas camadas. A folha é mantida numa “sanduíche” de material absorvente, designados por feltros, à medida que passa entre os rolos de compressão. Os feltros atuam como papel mata-borrão para absorver a água, o qual é depois limpo e seco por ação de vácuo, antes de chegar à folha na próxima rotação. No final desta etapa, estima-se que o conteúdo seco tenha aumentado para 40 a 50% (Biermann, 1996) (Canavarro, 1985) (IPT, 1988) (SCA, 2010).



Figura 30 – Secção de prensagem da Prado Karton.

Fonte: Própria

A capacidade das prensas alcançarem esses objetivos, sem causar danos ao papel (esmagamento, furos, perda de finos, enrugamentos) depende do respetivo design, dos tipos de feltros e das características da operação. Ou seja, as prensas devem ser concebidas e operadas de modo a extrair o máximo de água da folha, de modo a reduzir as necessidades de calor na secaria, mas sem danificar a mesma.

Os defeitos mais frequentes são o esmagamento, o enrugamento e a marcação. O esmagamento ocorre quando o feltro, por qualquer motivo, se mostra insuficiente na capacidade de transportar a água retirada da folha, levando à rutura da folha. O enrugamento dá-se quando uma certa quantidade de ar se aloja entre o feltro e a folha de papel. Ao entrar na zona de compressão de prensagem, o ar é expulso abruptamente, originando o enrugamento superficial da folha. Quanto à marcação, é frequente, durante a prensagem, os feltros marcarem com a sua trama a folha, fato mais saliente quanto mais húmida ela se encontrar e quanto maior a pressão exercida.

O mau funcionamento da unidade de secagem pode prejudicar a eficiência da secagem da folha e, consequentemente, a qualidade estrutural do cartão se este for submetido a um excesso de pressão ou apresentar alguma anomalia na sua superfície que retire a uniformidade da espessura da folha (Canavarro, 1985) (Sékula, 2011).

2.5.6. Secagem

Na sequência da prensagem, a secagem é a última etapa de remoção de água, que aqui é feita mediante evaporação. O método consiste na passagem da folha sobre cilindros aquecidos a vapor, por meio de telas secadoras, sendo aquecida a uma temperatura suficiente para provocar a evaporação da água. Esta fase é, normalmente, realizada por várias baterias de secadores que podem ir de dois a cinco andares (Biermann, 1996) (Canavarro, 1985) (SCA, 2010).

No caso da empresa Prado Karton, as baterias são compostas por dois andares, em que a folha passa, de um cilindro superior para um inferior, deste para um superior, e assim sucessivamente. As baterias de secadores estão confinadas numa estrutura metálica fechada que pretende evitar que o calor se disperse, diminuindo assim, os custos desta operação, que condiciona na sua maior parte os custos de produção.

A fase inicial da secagem reside em elevar a temperatura do material a secar à temperatura de evaporação – aquecimento de elevação. Como a temperatura da folha à saída das prensas é praticamente a temperatura ambiente, os primeiros secadores são destinados a elevar a temperatura da folha. Assim, de modo a evitar o sobreaquecimento localizado na folha e a aderência das fibras ao secador, o que seria péssimo para o

processo, a temperatura do primeiro secador não excedem normalmente os 65°C. A temperatura dos outros secadores é controlada e elevada a mais de 100°C, com a rapidez possível do processo. Logo que a folha fique aquecida, a temperatura do secador será elevada entre 170 e 200°C. A temperatura da folha, no entanto, não subirá a mais do que a temperatura de evaporação da água, enquanto esta permanecer na folha, pois a evaporação da água provoca o arrefecimento da folha, impedindo-a que tome temperaturas tão elevadas como as dos secadores, o que poderia produzir efeitos nefastos nas fibras. Como se torna evidente, a falta de uniformidade da temperatura, a toda a largura do secador é pernicioso para a qualidade do papel.



Figura 31 – Secção de secagem da Prado Karton.

Fonte: Própria

Quando o teor de humidade na ordem dos 10% é alcançado, o grau de secura é reduzido e a folha corre o risco de sobreaquecimento e encorilhamento superficial. Por este motivo, a temperatura dos dois últimos secadores deverá ser inferior de modo a evitar a danificação do papel, esta fase é denominada – zona de queda. O teor de humidade final dependerá das limitações específicas de cada tipo de papel. Há que ter também em consideração, que o teor de humidade do papel aumentará ou diminuirá com as variações da humidade relativa ambiente.

De forma a tornar a secagem o mais eficiente possível, existem outras formas de secagem presente na Prado Karton: a secagem por infravermelhos e a secagem com o cilindro “Yankee”. Este último difere dos anteriores, não só pelas suas dimensões (5 m de diâmetro), como também pela sua forma de secagem numa só passagem. Para além disso, melhora substancialmente a camada da cobertura do cartão, aumentando a sua lisura devido à superfície altamente polida do cilindro, tornando a folha mais atrativa comercialmente (Canavarro, 1985).



Figura 32 – Friccionador Yankee da Prado Karton.

Fonte: Própria

Existe ainda a “Size-Press” (prensa de colagem), onde se realiza a colagem da superfície do cartão, que tem como intuito melhorar as ligações químicas inter-fibras à superfície de modo a evitar o seu desprendimento na fase posterior de transformação do cartão. Esta colagem superficial dá-se quando a folha está meio-seca, em que material de colagem é uma solução de amido, que irá dificultar a penetração de líquidos, aumentar as suas características mecânicas, opacidade e rigidez (Canavarro, 1985) (Prado Karton, 2011) (Tecnicepa, 2001).

Há a salientar que, tanto a fase da Size-Press como a fase do revestimento, com a aplicação de uma calda sobre a camada de cobertura estão situadas entre baterias de secadores. Ou seja, antes e depois destas etapas existe uma bateria de secadores e para a secagem do revestimento existem duas rampas de secagem pelo processo de infravermelhos a gás (Prado Karton, 2011).

2.5.7. Calandragem

Nesta altura, o processo de formação da folha encontra-se praticamente finalizado, no entanto, a folha ainda apresenta algumas irregularidades, tanto na camada da cobertura como na do verso, sendo considerado um defeito para a finalidade do cartão, que na sua maioria é impressão de embalagens. Assim, a calandragem é um processo mecânico que não confere nenhuma qualidade adicional à folha de papel, servindo apenas para aprimorar as características do cartão, tornando lisas as duas faces deste.

A calandra pode ser colocada antes da secaria (calandra alisadora), dentro da secaria (calandra Igualadora) ou após a secaria (calandra de máquina).

No que diz respeito à Prado Karton, este procedimento é realizado numa calandra “*Hard Nip*”, em que dois rolos de aço colocados na vertical entram em contacto com cada lado do cartão, suavizando a sua superfície, obtendo-se uma consistência entre 90 a 95%. Para além de modificar a superfície do cartão, a calandragem pode também influir nas seguintes características:

- **Espessura** – diminui entre 30 a 50%, do mesmo modo que o índice de mão;
- **Porosidade** – diminui, por vezes, de forma notória;
- **Coloração** – a cor branca escurece e as cores ficam com os tons mais carregados;
- **Transparência** – aumenta com a calandragem;
- **Inércia** – aumento da estabilidade dimensional (Canavarro, 1985).

2.5.8. Enrolamento

A fase final do processo de fabrico de cartão é o enrolamento do produto fabricado numa bobina (Figura 33), designado por bobina de fim de máquina, sendo depois retirada com o auxílio de uma grua operada por um funcionário com as respetivas anotações inerentes ao produto.



Figura 33 – Enrolamento, bobina de fim de máquina (Prado Karton).

Fonte: Própria

Desde a entrada da suspensão aquosa na máquina (*Head Box*) até ao enrolamento o processo de fabricação de cartão é sempre contínuo. A partir daqui, há que transformar o cartão em unidades menores para obtenção do produto final.

De realçar que todo o processo é automatizado, possuindo um controlo automático de processos – Honeywell (sistema “Da Vinci”), para assim se obter níveis elevados qualidade no produto acabado.

É nesta fase que se procede à recolha de amostras de todas as bobinas pelo controlador de máquina para a realização de ensaios ao produto acabado. São também retiradas amostras que são armazenadas durante o período de 2 anos e que em caso de necessidade podem ser inspecionadas ou utilizadas para ensaios, designadas de amostras de controlo remoto.

A inspeção visual do produto fabricado é realizada ao longo de todo o processo, sendo mais evidente à saída do enrolamento da bobina, onde são inspecionadas sobretudo características como a cor e a formação, em que as principais não-conformidades encontradas podem ser seguintes:

- **Chaga/Ampola** – bolha de ar produzida na zona húmida e que na prensagem forma duas pregas paralelas na direção longitudinal;
- **Esmagamento** – defeito no cartão causado por deslocação da pasta por excesso de pressão na banda contínua húmida já formada, aparecendo localmente sob a forma de um fundo grumoso;
- **Prega** – deformação local de uma folha de cartão devido a uma contração irregular, apresentado um aspeto ligeiramente crispado;
- **Grumo** – defeito produzido na formação da folha e/ou prensagem, tornando-se visível após a calandragem do cartão sob a forma de zonas mais translúcidas (plastificadas), de buracos ou ainda de tom acinzentado devido a aglomerados de fibras e matérias-primas duras;
- **Bolha** – deformação visível na superfície do cartão ou no revestimento, devido a uma bolha de ar que se produz pela vaporização rápida da água contida no interior da folha;
- **Microdeslocamento** – deformação local visível na superfície de um cartão ou no revestimento, devido a uma bolha de ar que se produz pela vaporização rápida da água no interior da folha;
- **Encurvamento** – deformação de uma folha de cartão em toda a sua superfície que tende a enrolar-se sobre si própria;
- **Borra** – defeito no cartão visível sob a forma de machas (sujidades) originadas pelo crescimento microbiológico de fungos e/ou bactérias nos circuitos de pasta e aglomerados de massa;
- **Risco** – defeito visível sob a forma de risco na superfície do cartão devido a falha produzida na formação ou no revestimento;
- **Má Formação** – aspeto não uniforme da superfície do cartão causado pela forma deficiente como estão dispostas e distribuídas as fibras na folha de cartão;

- **Diferença de Humidade/Cor/Gramagem/Couche** – cartão apresenta valores fora do intervalo de variação considerado;
- **Quebra** – quantidade de cartão não-conforme resultante do acerto de características após quebra;
- **Borda-Fora** – quantidades de cartão inutilizada resultante da recolha de uma amostra durante o enrolamento para realização de ensaios.

2.5.9. Bobinagem

A bobinagem é a primeira etapa dos acabamentos, realizada após a produção de papel, não havendo mais processos de alterem a estrutura química do cartão. Esta máquina (rolo) para os clientes devido às suas dimensões, ao seu peso e ao comportar um mandril mecânico. Deste modo, ocorre um processo de transformação meramente físico com o objetivo de diminuir o tamanho do rolo e, por consequência, o seu peso. Este processo como se depreende é realizado numa bobinadora que tem como função transformar as bobinas oriundas da máquina de papel, aparando-as, isto é, cortando as extremidades da bobina, que por norma não comportam irregularidades marginais do cartão produzido, colocando-as em casquilhos de menores larguras para atender às medidas solicitadas pelos clientes. Os casquilhos substituem o mandril metálico e são nada mais, nada menos, que tubos de cartão com extrema rigidez, fáceis de utilizar, sendo cortados de acordo com o tamanho das bobinas. Produz-se, assim, uma bobina mais compacta, com densidade controlada, que pode ser desbobinada a alta velocidade, com poucos problemas de tensão que levem à quebra da folha (Canavaro, 1985) (Correia, 2004).



Figura 34 – Bobinadora Convencional da Prado Karton.

Fonte: Própria

Os principais componentes de uma bobinadora são a desenroladeira, os tambores enroladores e as facas rotativas de formato circular, montadas num eixo que permite movimentá-las de forma a serem reguladas para diferentes posições, e assim, obter diferentes tamanhos de bobinas. A Prado Karton possui duas bobinadoras que atingem velocidades de 400 e 1 000 m/min (IPT, 1988).

Todavia, desde que sai da máquina de fabrico a bobina até chegar à fase de bobinagem, existe um compasso de espera de 2 horas, durante o qual o cartão repousa, ficando exposta às condições ambiente no final da máquina de produção. É assim importante manter um nível de humidade relativa apropriado na área de acabamentos, para evitar possíveis danos no cartão, mantendo a sua flexibilidade e estabilidade durante as operações de transformação.

Caso o pedido do cliente seja bobinas de determinadas dimensões, estas quando obtidas, são cintadas e/ou plastificadas na plastificadora, que representa o final da linha de acabamentos, sendo depois transferidas para a logística, onde permanecem armazenadas até à sua expedição (Correia, 2004).

2.5.10. Corte

Caso o cliente solicite folhas de cartão empilhadas em resmas, que é o mais usual, as bobinas que saem da bobinagem, repousam novamente mais 2 horas, e são então encaminhadas para as cortadeiras. Na Prado Karton existem duas cortadeiras com uma largura máxima de 160 e 210 cm, onde as bobinas são desenrolas e o cartão é cortado nos formatos desejados, havendo portanto uma conjugação de larguras. Caso as dimensões requeridas sejam inferiores às admitidas pelas cortadeiras, o corte pode ainda ser executado em duas guilhotinas (Correia, 2004).

As cortadeiras presentes na fábrica do tipo giratórias simples e são compostas por um sistema de desenrolamento, uma área de alimentação, a zona de corte, um sistema de transporte das folhas cortadas e um sistema de empilhamento (Figura 35). A cortadeira funciona de forma simples, com uma faca giratória que embate na contra faca, que se encontra fixa, cortando o cartão na medida previamente definida. Sendo o tamanho ajustado alterando a velocidade com que a folha de cartão percorre a cortadeira e a

velocidade com que a faca gira. O encaminhamento do cartão para a zona de corte é realizado por meio de umas correias transportadoras, que depois do corte o direcionam para a zona de empilhamento, onde as folhas de cartão serão empilhadas sobre uma paleta, executadas à medida. Estas são então identificadas pelos operadores, sendo depois encaminhadas para a linha de plastificação automática e, por fim, armazenadas como produto final, até à sua expedição (Correia, 2004) (IPT, 1988).

Antes da plastificação as paletes e as bobinas são devidamente identificadas com pósteres que possuem a informação essencial sobre o produto e, no caso das paletes, é medida a humidade relativa (%HR), através de um aparelho portátil munido de um sensor com a forma de uma espátula, que se insere entre as folhas de cartão empilhadas a cerca de 10 cm do topo.



Figura 35 – Cortadeira Simplex da Prado Karton.

Fonte: Própria

Nesta fase podem ainda ocorrer algumas não-conformidades que põem em causa a qualidade do produto final, como:

- **Diferença de Formato** – dimensão da folha de cartão diferente dos valores específicos;
- **Diferença de Esquadria** – diferença entre a medida dos diagonais da folha de cartão;

- **Corte** (veludo, poeiras e farripas) – aspeto aveludado na superfície de corte ou fibras e partículas de cargas que se apresentam soltas ou parcialmente aderentes à superfície de corte destacando-se facilmente;
- **Ondulamento** – ondulamento da folha de cartão normalmente na direção transversal;
- **Empilhamento Inclinado** – diferença de altura nas extremidades opostas do empilhamento;
- **Mau Amanamento** – folhas sobrepostas mal alinhadas;
- **Folhas Vincadas** – marca na folha de cartão sob a forma de vinco;
- **Folhas Dobradas** – dobra observável em qualquer zona da folha de cartão;
- **Diferença de Espessura** (embalagem) – paletes do mesmo tipo de cartão, gramagem e número de folhas que apresentam alturas diferentes.

Em resumo, desde a matéria-prima até ao cartão, cada etapa tem um determinado impacto nas propriedades do produto final, pelo que a conceção de um produto papelero envolve, a cada passo, compromissos entre a qualidade do cartão, os materiais disponíveis e os inerentes custos ao processo. Ou seja, cada etapa do processo apresenta a sua especificidade própria, estando diretamente relacionada com o tipo de matéria-prima utilizada e com as características pretendidas para o produto final. A importância relativa de cada uma delas é função da utilização a dar ao cartão, que no caso da Prado Karton abrangem diversas áreas, nomeadamente, alimentar e bebidas, têxtil, calçado, farmacêutica, cosmética, detergentes higiene e limpeza.

3. Estudo do Mercado

O capítulo que se segue pretende posicionar a indústria portuguesa da pasta e do papel no atual contexto nacional e internacional e analisar a evolução do setor papeleiro em Portugal, tendo como alusão a economia portuguesa.

3.1. Enquadramento Macroeconómico Português

O presente ano foi marcado pela recente conclusão do Programa de Assistência Económica e Financeira acordado em Maio de 2011 entre as autoridades portuguesas e a Troika – composta pela Comissão Europeia, Banco Central Europeu e Fundo Monetário Internacional (FMI) – estabelecendo um momento importante na evolução da economia portuguesa (Portugal, Relatório do Conselho de Administração - A Economia Portuguesa, 2014).

Atendendo ao comportamento da economia portuguesa desde 2009 e à fraca capacidade de financiamento existente atualmente na economia acompanhada por uma fraca procura interna, era expectável que o ano de 2013 apresentasse um crescimento negativo do PIB (valor estimado: -2%), visto Portugal ser um dos países europeus que mais viu o seu PIB diminuir no primeiro trimestre de 2013. Prosperamente, a partir do segundo trimestre de 2013 registou-se uma inversão da queda de atividade económica que vinha a ser observada desde o final de 2010, tendo o ano terminado com o decréscimo de 1,4% do PIB. Através do gráfico da Figura 36 podemos acompanhar a evolução do PIB nos últimos anos e compará-lo relativamente à Europa (CELPA, Boletim Estatístico 2013 - Indústria Papeleira Portuguesa, 2014).

Segundo o Banco de Portugal, as estimativas para a economia portuguesa apontam para uma recuperação de atividade no período de 2014-2016, com taxas de crescimento médias anuais de 1,1% para 2014, 1,5% em 2015 e 1,7% em 2016 (Tabela 2). Deste modo perspetiva-se um ritmo próximo do projetado para a área do euro (Portugal, Boletim Económico - Junho 2014, 2014).

No entanto, a evolução recente da economia portuguesa insere-se num cenário de reduzido crescimento tendencial e correção de desequilíbrios macroeconómicos. O regresso da economia portuguesa ao financiamento de mercado em condições de normalidade terá de assentar num crescimento sustentado do produto, condição necessária

para a redução do elevado nível de desemprego, que constitui um dos aspetos mais gravosos do processo de ajustamento (Portugal, Relatório do Conselho de Administração - A Economia Portuguesa, 2014).

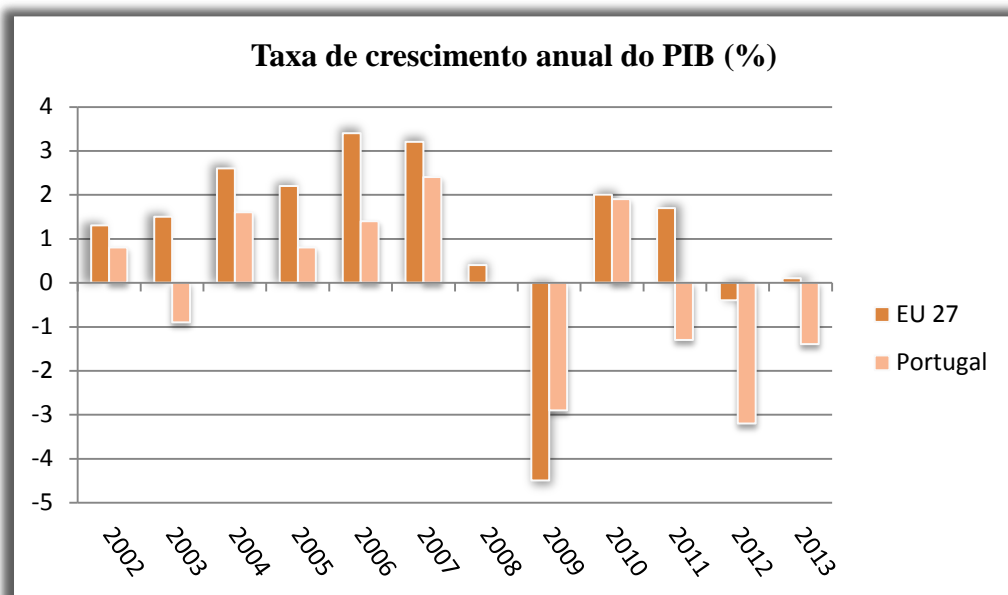


Figura 36 – Gráfico da taxa de crescimento anual do PIB, em percentagem.

Fonte: Eurostat

Tabela 2 – Projeções do PIB e Principais Componentes da Despesa Agregada (Taxa variação anual em %).

	2012	2013	2014 ^(p)	2015 ^(p)	2016 ^(p)
PIB	-3,2	-1,4	1,1	1,5	1,7
Consumo Privado	-5,6	-1,7	1,4	1,5	1,5
Consumo Público	-4,4	-1,8	-0,2	-1,4	0,2
FBCF	-14,5	-6,6	0,8	3,7	3,9
Procura Interna Total	-6,7	-2,6	1,4	1,0	1,6
Exportações	3,2	6,1	3,8	6,1	5,6
Importações	-6,7	2,8	4,6	4,8	5,5
Contributo da Procura Interna para o PIB	-7	-2,6	1,4	1,0	1,6
Contributo da Procura Externa Líquida para o PIB	3,8	2,3	1,5	2,5	2,4

Fonte: Banco de Portugal, Boletim Económico, Junho 2014

(p) – previsão.

Ainda assim, o Inquérito ao Emprego revela um crescimento homólogo do emprego de 1,7% no primeiro trimestre de 2014, bem como uma redução da taxa de desemprego

pelo quarto trimestre consecutivo, situando-se em 15,1% no primeiro trimestre de 2014 (face a 17,5% no primeiro trimestre de 2013). A evolução da taxa de desemprego pode ser observada na Figura 37, onde se pode comparar a taxa de desemprego em Portugal relativamente à Área do Euro e aos EUA (Portugal, Boletim Económico - Junho 2014, 2014).

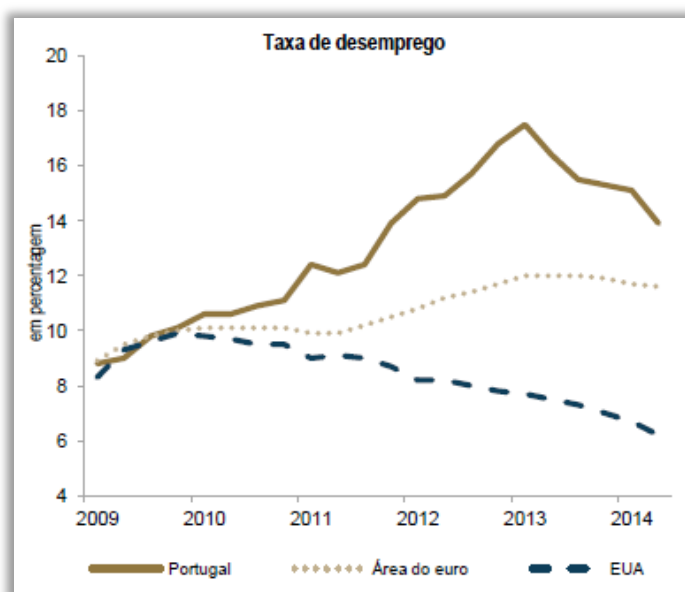


Figura 37 – Gráfico da Taxa de desemprego

Fonte: Banco de Portugal, Agosto 2014

A fragilidade da economia nacional é também evidente no sentimento de confiança dos consumidores portugueses. É interessante verificar que desde finais de 2009, os portugueses têm aumentado as suas expectativas negativas, face à média europeia. Enquanto em termos médios os consumidores europeus já recuperaram para níveis de confiança superiores aos sentidos no final de 2008, os consumidores portugueses apresentam-se com os menores níveis de confiança na economia de sempre. Notoriamente a partir do início de 2013, a confiança dos consumidores portugueses tem demonstrado um acentuado movimento ascendente, tendo em julho registado o seu valor mais elevado desde janeiro de 2007, no entanto, ainda longe de alcançar o valor médio europeu, como se pode verificar na Figura 38 apresentada em seguida (CELPA, 2012).

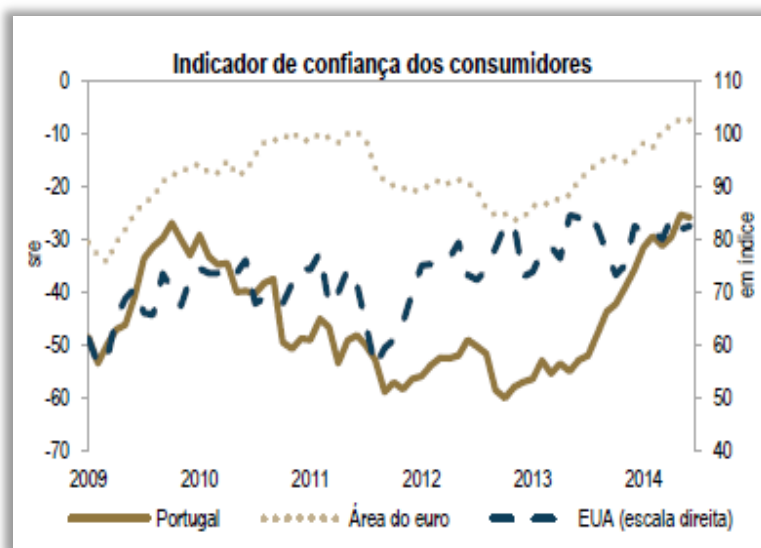


Figura 38 – Gráfico indicador de confiança dos consumidores.

Fonte: Banco de Portugal, Agosto 2014

Há ainda que ter em consideração alguns fatores que podem vir a ter impacto na economia portuguesa como, o enquadramento político nacional associado às eleições legislativas em 2015, as incertezas ao nível da política europeia e a situação da Crimeia da Rússia, poderão originar sérias consequências na economia nacional através do potencial aumento dos preços do petróleo e gás, que poderão contribuir para uma maior dificuldade na recuperação de sectores industriais com exposição a custos energéticos, de transporte e de câmbio (CELPA, 2014).

3.2. O Sector Industrial Português

Apesar do ano de 2013 ter apresentado um crescimento da produção industrial a nível europeu e nacional, talvez decorrente do crescimento momentâneo do comércio internacional, o início de 2014 revelou um abrandamento desse crescimento, como se pode verificar na Figura 39. No entanto, Portugal tem evidenciado um crescimento contínuo da sua produção industrial, tendo no primeiro trimestre de 2014 essa produção aumentado 5,8%, bastante acima da média europeia de 1,4%. Uma vez que este padrão já se verificou em 2013, podemos estar perante uma situação em que o sector industrial português

conseguiu identificar países e segmentos de mercado capazes de absorver a produção de bens nacionais, quem sabe, bens com elevado valor acrescentado.



Figura 39 – Produção Industrial

Fonte: Key Indicator for the Euro Area

Entre 2001 e 2013 a maior perda de emprego ocorreu na indústria com a redução 360 mil postos de trabalho, com a contração da economia mundial e nacional, o sector da indústria registou descidas em todos os principais indicadores económicos e nos fluxos do comércio internacional, que se refletiu até na diminuição do peso deste sector na economia nacional. Toda esta situação contribuiu para um evidente período de declínio de confiança no sector industrial português, ilustrado no gráfico da Figura 40. Contudo, a situação começou a reverter-se em 2013 quando o índice de confiança do sector industrial português começou finalmente a aumentar, evidenciando o reconhecimento por parte dos industriais portugueses exportadores de mercados de exportação mais sólidos (CELPA, 2014).

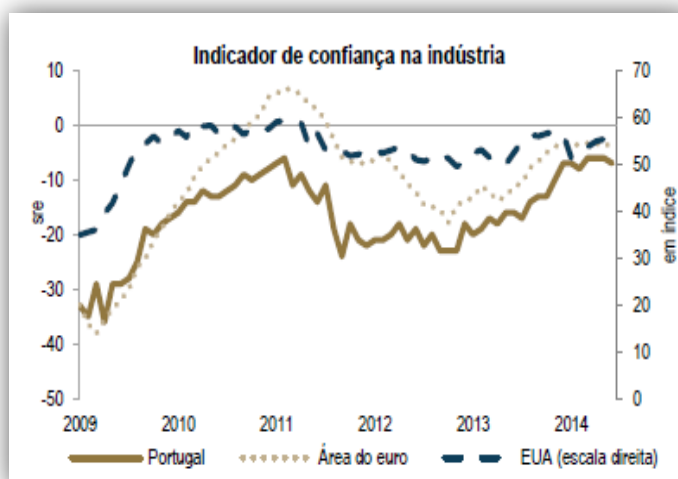


Figura 40 – Gráfico Indicador de confiança na indústria.

Fonte: Banco de Portugal, Agosto 2014

3.2.1. Sector da Pasta e do Papel

Nas últimas décadas, o sector da pasta e do papel passou a ter um grande peso na economia nacional e mundial, comprovado pelo aumento contínuo da produção e do consumo de pasta e papel.

Apesar do sector da pasta e do papel está sujeito a ciclos de crescimento e de recessão que acompanham a evolução da atividade económica, este sector possui mais de 3 000 postos de trabalho direto, onde 96,5% são trabalhadores efetivos. No entanto, o impacto social da indústria de pasta e papel, quer a montante quer a jusante, bem como nas atividades desenvolvidas à volta de cada centro fabril, é muito significativo, representando algumas dezenas de milhar de postos de trabalho.

Num contexto de 5 anos de recessão da economia nacional, o sector da pasta e do papel português conseguiu aumentar, em 2013, a produção de pasta que foi diretamente incorporada no processo de produção de papel, evidenciando assim a crescente integração vertical do sector (Gouveia, 2001) (CELPA, 2012).

Apesar de os principais produtos exportados serem as Máquinas e aparelhos, os Veículos e os Combustíveis Minerais, os maiores excedentes nas trocas comerciais

verificaram-se nas transações de Minerais e Minérios, Calçado e Pastas Celulósicas e Papel. Segundo o INE, no ano de 2013, o grupo designado por, Pastas Celulósicas e Papel, passou a registar o terceiro maior saldo positivo em termos respetivos, como se pode verificar na Tabela 3, em consequência do excedente dos outros produtos terem diminuído, como ilustra o gráfico da Figura 41 (INE, 2014).

Tabela 3 – Comércio Internacional de Bens: Saldo da Balança Comercial por Grupo de Produtos, em Milhares de Euros.

CÓD. G.P.	GRUPO DE PRODUTOS	2011	2012	2013
1	Agrícolas	- 3 851 443	- 3 602 161	-3 653 691
2	Alimentares	-348 884	-107 257	-77 171
3	Combustíveis Minerais	- 7 374 125	-7 940 237	-6 236 435
4	Químicos	-3 696 205	-3 595 096	-3 213 702
5	Plásticos e Borrachas	-438 974	-6 070	-997
6	Peles e Couros	-477 965	-452 147	-504 678
7	Madeira e Cortiça	687 139	830 868	833 940
8	Pastas Celulósicas e Papel	811 132	1 074 268	1 142 945
9	Matérias Têxteis	-4 999	95 432	12 233
10	Vestuário	704 456	915 564	927 176
11	Calçado	1 010 850	1 118 137	1 235 680
12	Minerais e Minérios	1 384 721	1 523 091	1 614 745
13	Metais Comuns	-1 449 615	-562 964	-624 090
14	Máquinas e Aparelhos	-2 902 942	-1 425 926	-1 423 822
15	Veículos e Outro Material de Transporte	-750 953	468 174	-53 399
16	Ótica e Precisão	-721 868	-626 748	-586 985
17	Outros Produtos	696 267	1 132 006	968 684

Fonte: INE, 2013

O sector da pasta e do papel compreende uma série de produções podendo ser dividido em pasta para papel, papel e cartão e papel para reciclar.

Embora a pasta para papel seja considerada um produto genericamente indiferenciado, o mercado é segmentado por tipo de pasta. A espécie de madeira utilizada e o processo produtivo a que é submetida levam a que seja mais adequada à produção de determinadas classes de papel e de cartão. Habitualmente é também, comum distinguir a pasta integrada e a pasta para mercado.

A pasta integrada é produzida como matéria-prima para produzir papel na mesma fábrica ou pra enviar pela fábrica produtora para outras fábricas que a primeira possui,

controla ou são suas associadas dentro do mesmo país. Já a pasta para mercado é aquela que é vendida em concorrência aberta com a de outros produtores. Ou seja, toda a pasta exportada é considerada, assim, pasta para mercado.

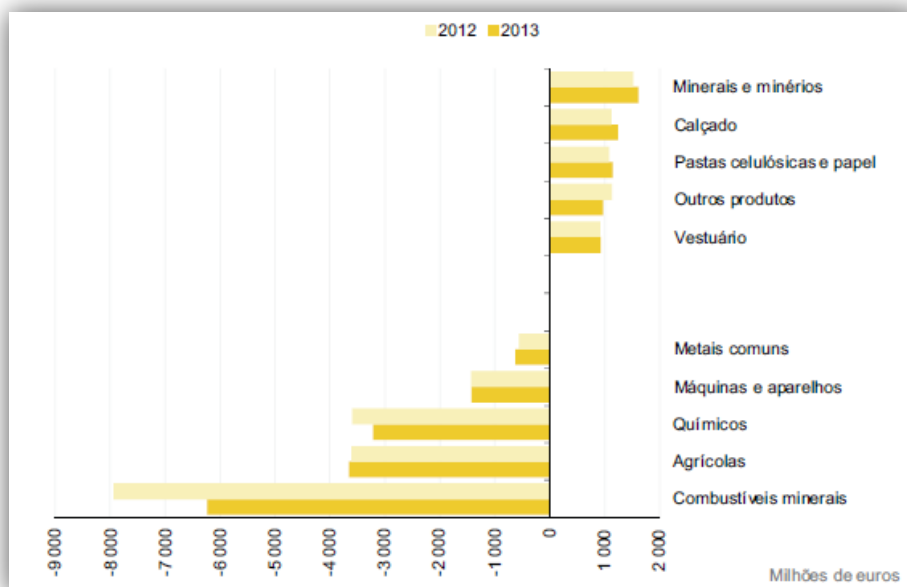


Figura 41 – Gráfico dos principais saldos por grupos de produtos (Comércio Internacional de Bens).

Fonte: INE, 2013

No que toca ao papel e cartão, cada vez mais, a procura por produtos de origem natural, tende a crescer em estreita relação com o desenvolvimento económico. Esta situação é bem evidente se se tiver em consideração que grande parte dos produtos transacionados a nível mundial são embalados, ou seja, a procura de papel e cartão reflete as oscilações das trocas comerciais e, consequentemente, da conjuntura económica (Gouveia, 2001).

3.2.1.1. Pasta para papel

A indústria da pasta para papel ocupa uma posição relevante no conjunto da indústria transformadora portuguesa, possui uma capacidade de produção anual (2013) de cerca de 2 500 mil toneladas, mais 1,9% do que no ano anterior (Figura 42), com um aumento de

consumo de pastas para produção de papel de 3.4%. Atualmente, 52,5% da pasta é integrada, com um aumento de 6,5% face a 2012, sendo a remanescente pasta para mercado. A pasta de eucalipto lidera a produção de pasta virgem com 93,3%, sendo que aproximadamente metade é para exportação. Já a pasta de pinho toda a sua produção (6,7%) é pasta integrada.

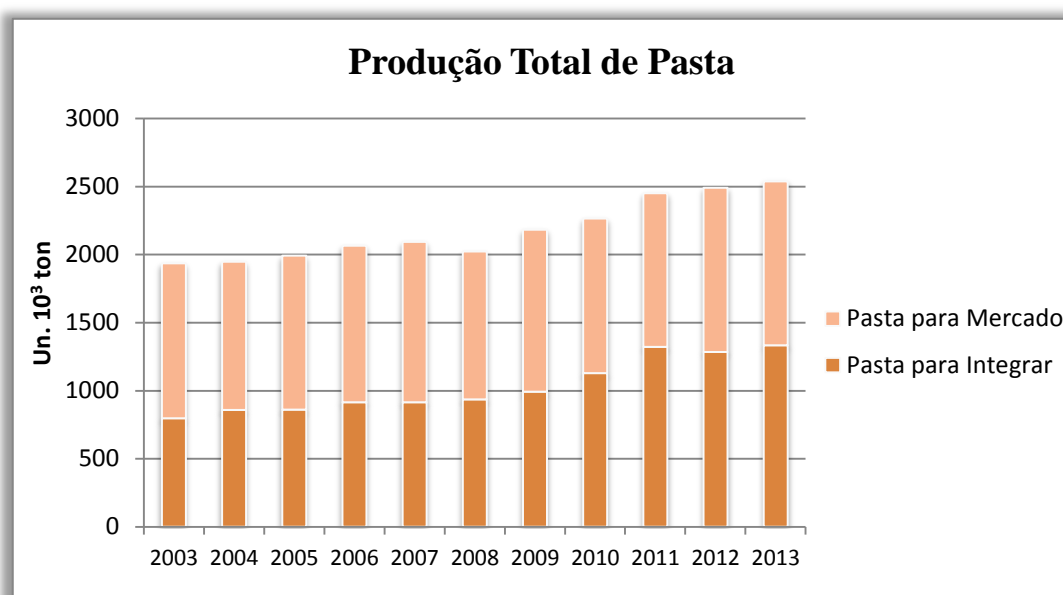


Figura 42 – Evolução da produção de pasta entre os anos de 2003 e 2013.

Fonte: CELPA

Quanto à produção de pasta de fibra recuperada (Figura 43), aumentou 20% em 2013 face ao ano anterior, tendo-se fixado em 309,2 mil toneladas, toda a produção é para integração, sendo que apenas 13,3% são destintadas.

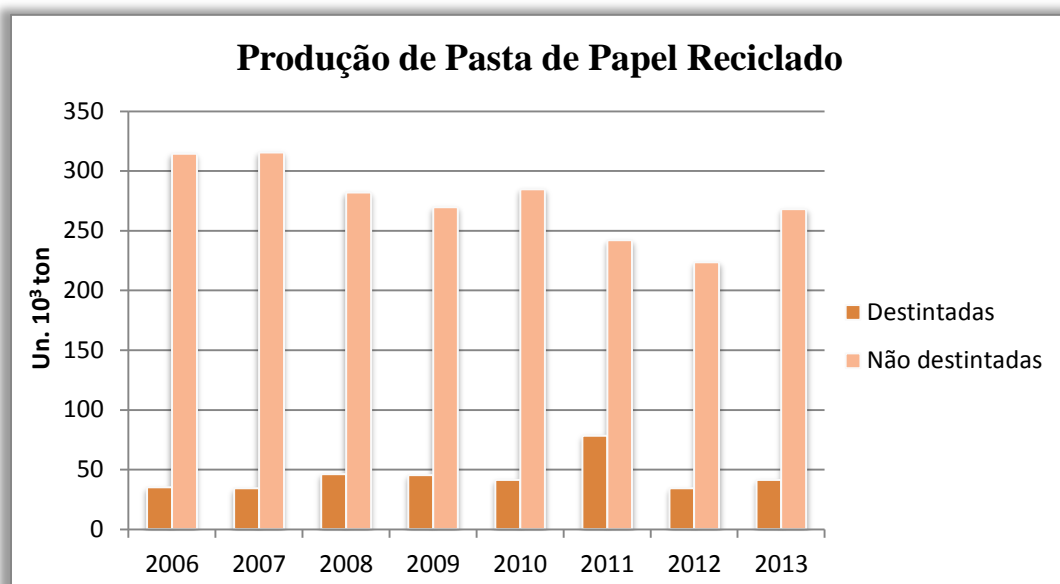


Figura 43 – Produção total de pasta de papel para reciclar.

Fonte: CELPA e RECIPAC

O sector continuou a contribuir positivamente para a balança de pagamentos portuguesa, uma vez que as exportações de pasta aumentaram 8,0%, bem como as vendas no mercado nacional com 17,2% face a 2012. O mercado comunitário absorveu mais de 80% das exportações nacionais de pasta e a quantidade de pasta vendida aumentou 8,6% como demonstra o gráfico da Figura 44.

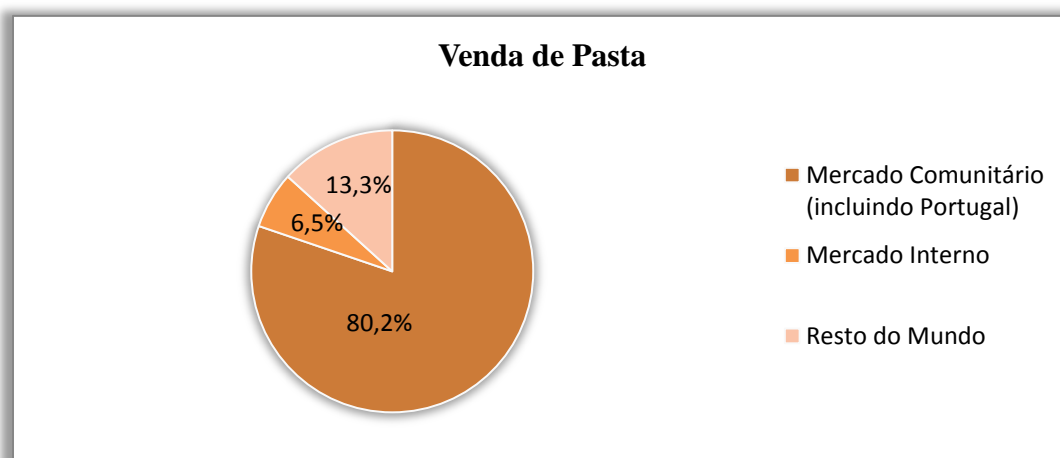


Figura 44 – Vendas de Pasta por Mercado em 2013

Fonte: CELPA e INE

Relativamente às importações de pasta (Figura 45), desde 2010, que se verifica uma tendência de aumento, sobretudo no que respeita à pasta de pinho branqueada ao sulfato, representado mais de metade das importações (CELPA, 2014).

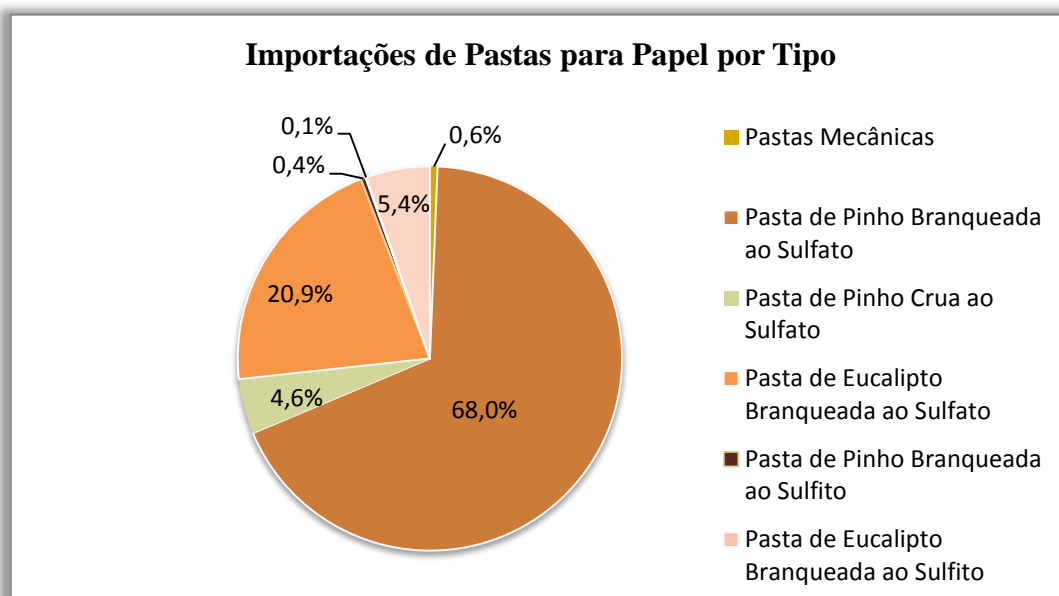


Figura 45 – Importações de Pastas para Papel por Tipo em 2013.

Fonte: INE

3.2.1.2. Papel e Cartão

Na indústria portuguesa de papel e cartão, muito heterogénea, existem mais de 200 empresas com o código de atividade empresarial em questão, sendo muitas delas de pequena ou média dimensão.

Ao nível da produção de papel, o ano de 2013 ficou marcado por um pequeno aumento de 2,7% nas toneladas de papel produzido e a quantidade de papel vendida aumentou 3,5%, face a 2012. Os principais segmentos produzidos, por ordem decrescente foram: os papéis para Uso Gráfico com 71,7%, seguidos pelas Coberturas de Cartão Canelado com 18,1% e os Papéis Domésticos com 4,6%, que podem ser observados através do gráfico da Figura 46.

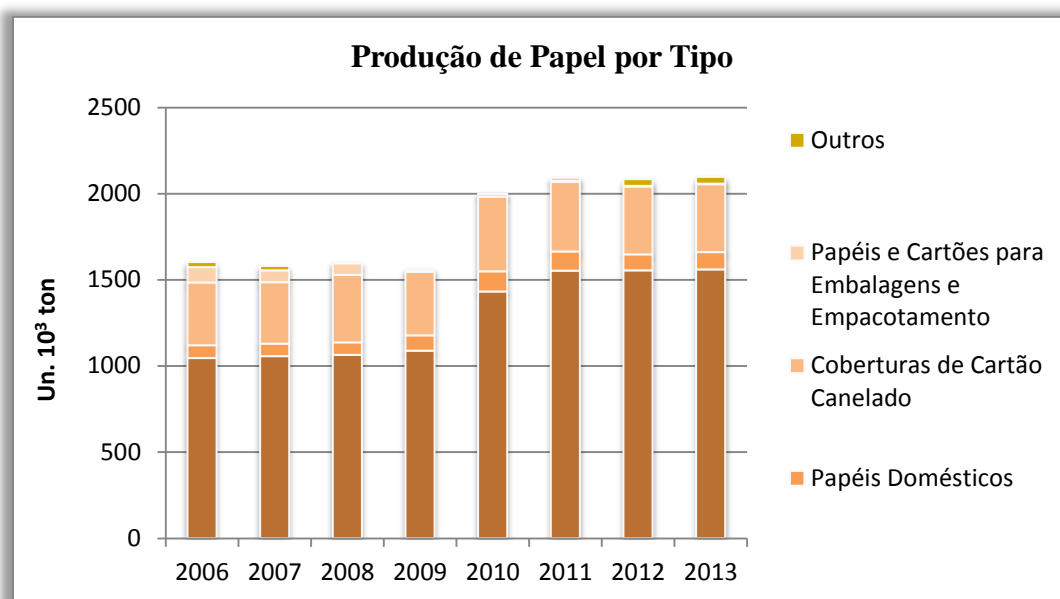


Figura 46 – Evolução da Produção de Papel por tipos ao longo dos anos.

Fonte: CELPA e RECIPAC

As exportações de papel cresceram também 3,4% e as vendas no mercado nacional aumentaram 4,4%. Nas exportações de papel, o mercado americano foi aquele que mais contribuiu para este crescimento, uma vez que as vendas para este continente aumentaram 17% face às quantidades de 2012.

A gráfico da Figura 47, revela que a União Europeia absorveu 72,3% das exportações nacionais de papel e cartão. Os principais consumidores do papel e cartão produzido em Portugal são também europeus: Espanha (19,4%), Alemanha (12,6%), Portugal (11,6%), França (10,7%) e Itália (7,8%).

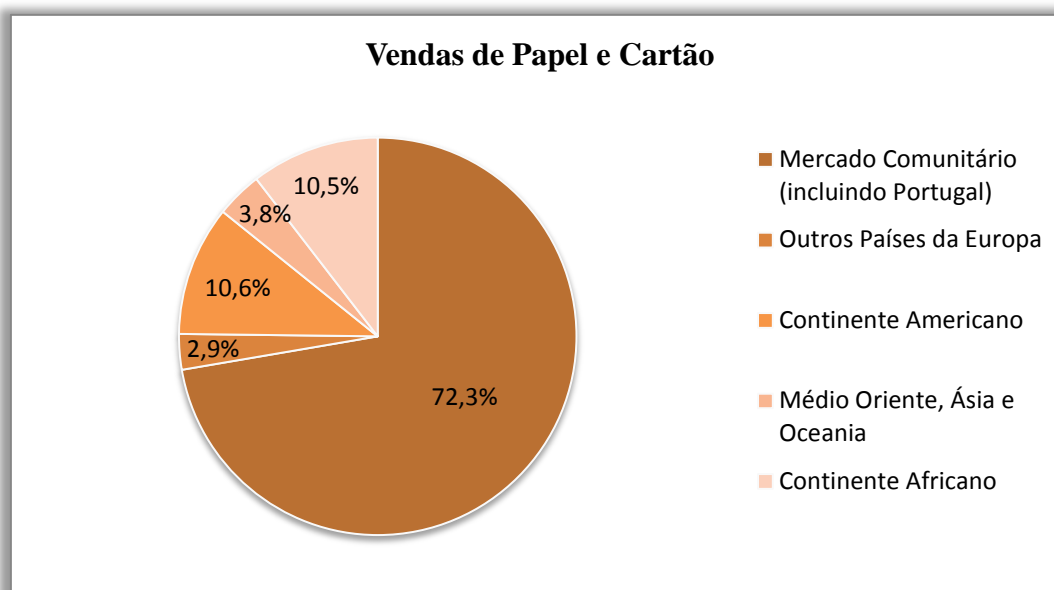


Figura 47 – Vendas de Papel e Cartão por Mercado em 2013

Fonte: CELPA, RECIPAC e INE

As importações de papel e cartão diminuíram 7,1% em 2013, fixando-se em 883,6 mil toneladas. A Figura 48 apresenta a quantidade das importações de cada tipo de papel. Tal como em anos anteriores, os tipos de papel e cartão mais importados correspondem a produtos onde a capacidade de produção nacional é inexistente ou claramente inferior às necessidades. As empresas do sector importam sobretudo papéis e cartões para embalagens, que representam mais de 60% das importações transacionadas. Já as importações de Papel de Jornal decaíram para metade se comparados com anos como 2008 e posteriores a este (CELPA, 2014).

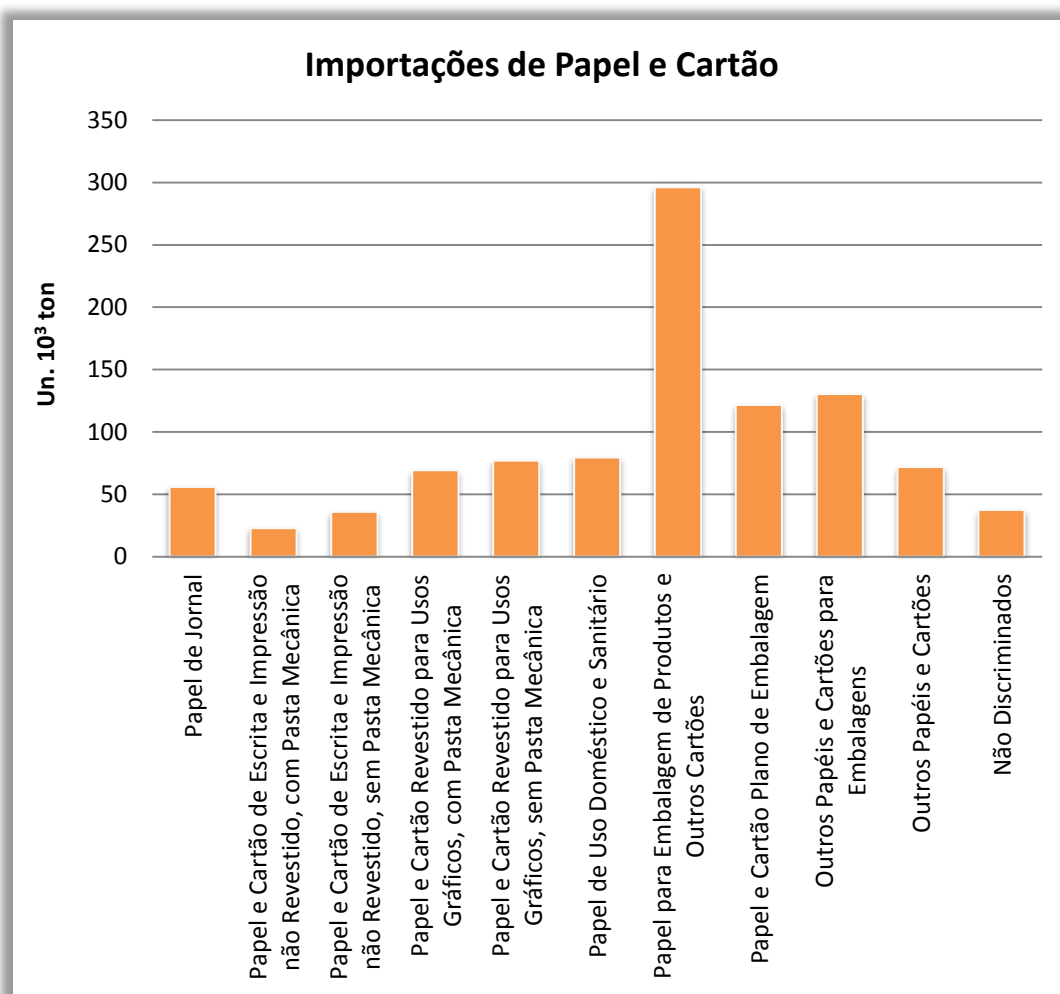


Figura 48 – Importações de Papel e Cartão de 2013.

Fonte: INE

3.2.1.3. Papel para Reciclar

A taxa de reciclagem em Portugal, tem vindo a aumentar gradualmente nos últimos anos, posicionando-se acima de 60% desde 2009, atingindo o seu máximo em 2013 com 66%. Quanto à recuperação de papel e cartão para reciclar aumentou 10%, registando 749 mil toneladas de fluxo urbano e não urbano. O consumo de papel para reciclar efetuado pelas fábricas de papel portuguesas registou um aumento de 32%, com cerca de 371 mil toneladas. No entanto, a taxa de utilização da totalidade do papel e cartão fixou-se nos

17%, contrariando a tendência dos últimos e aumentando 4 pontos percentuais. Esta evolução está representada no gráfico da Figura 49.

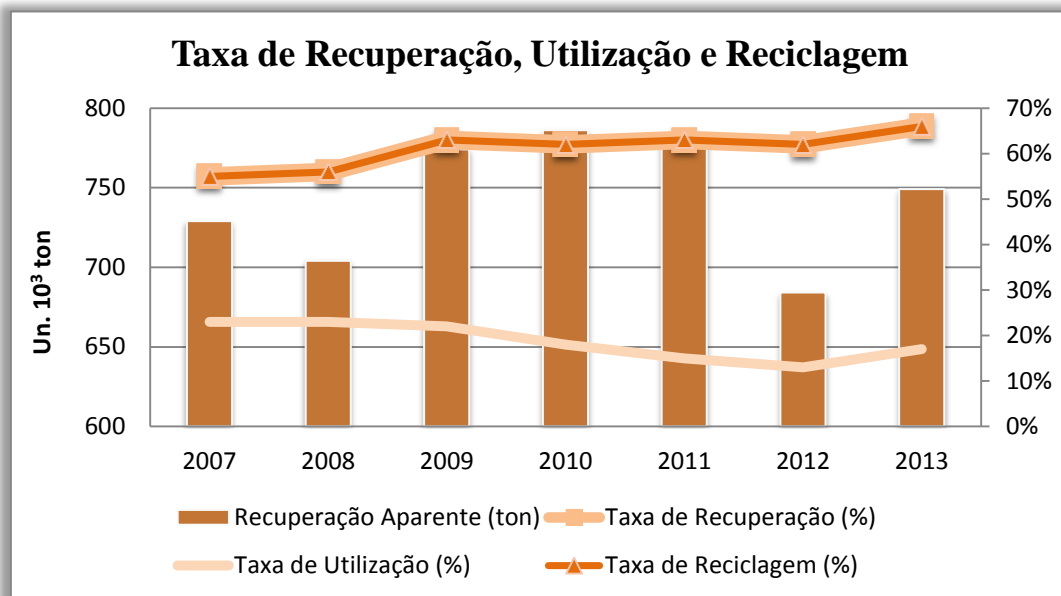


Figura 49 – Evolução das Taxas de Recuperação, Utilização e Reciclagem de papel.

Fonte: RECIPAC, CELPA, INE

A exportação de papel para reciclar diminuiu 7,4% face ao ano anterior, devido à quebra de vendas para o Resto do Mundo. O principal destino destas exportações continua a ser Espanha, que recebeu 80% do volume total exportado (Figura 50).



Figura 50 – Exportações de Papel para Reciclar referentes a 2013.

Fonte: INE

Devido aos incrementos em todos os mercados, as importações de papel para reciclar aumentaram 49% face ao ano anterior. Semelhante ao que sucede com as exportações o principal importador de papel para reciclar é a Espanha que detém 79,1% do volume total importado (Figura 51) (CELPA, 2014).

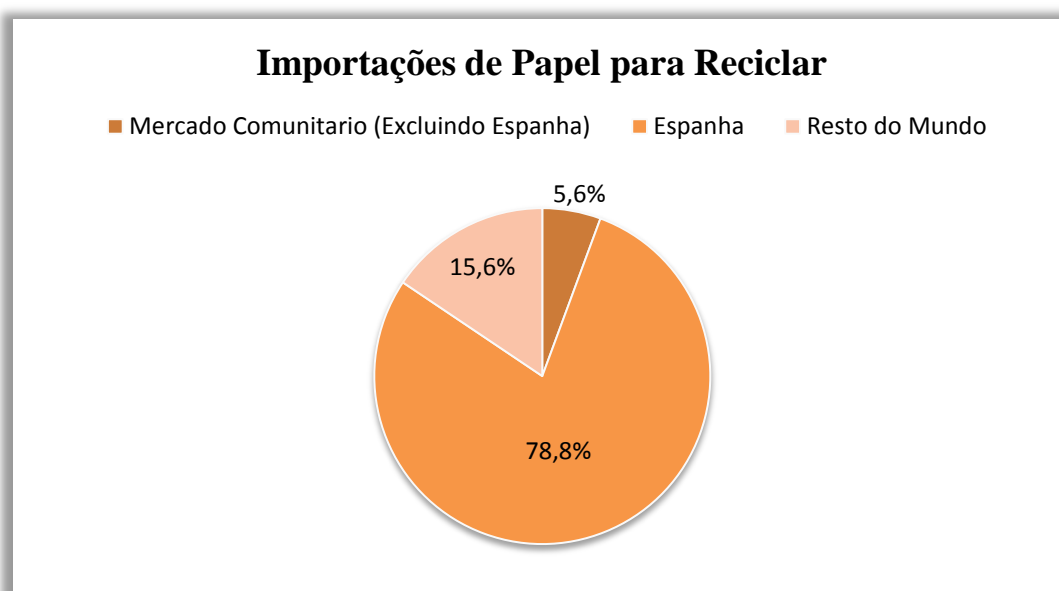


Figura 51 – Importações de Papel para Reciclar relativas a 2013

Fonte: INE

3.2.1.4. Indicadores Ambientais

À semelhança de anos anteriores, a água utilizada pela Indústria Papeleira em 2013, teve origem captações superficiais (rios e albufeiras) que representaram cerca de 66% do total de água captada. A captação de água tem conhecido um sucessivo e consistente decréscimo ao longo dos últimos anos, tendo em 2013 atingido os 97,8 milhões de m³ aproximadamente. Estes resultados devem-se a um criterioso programa de investimentos que tem vindo a otimizar o uso deste recurso em cada fase do processo produtivo, traduzindo-se em melhorias significativas neste campo. O que se verifica com a quantidade de água consumida por tonelada produzida que teve uma diminuição de 2%.

No que respeita aos efluentes líquidos, têm sido efetuados constantes investimentos nesta área, como a modernização e a adoção das melhores técnicas disponíveis para o sector, assim como, o empenho por parte das empresas na melhoria contínua do seu desempenho ambiental, para que se atinjam níveis cada mais elevados.

Em 2013, 62% dos efluentes líquidos foram descarregados no oceano, 24% em estuários e 14% em rios e albufeiras. As descargas realizadas no oceano são efetuadas a uma distância considerável da linha de costa com recurso a emissários submarinos, reduzindo assim o impacto nos ecossistemas locais. Naturalmente que todo o efluente líquido produzido é previamente tratado antes de ser libertado no meio recetor, traduzindo-se em 99% do efluente com tratamento primário seguido de um tratamento secundário (tratamento biológico). A qualidade do efluente libertado registou, em 2013, grandes melhorias, com reduções, face a 2012, de 9% na Carga Orgânica (medida em Carência Química de Oxigénio), de 11% no Teor de Azoto Total, 5% no Teor de Sólidos Suspensos e 6% no Teor de Compostos Halogenados, expressos por tonelada produzida.

Um dos grandes problemas ambientais nas indústrias são as fontes de emissões gasosas, associadas no caso da Indústria Papeleira à necessidade de produção de vapor e eletricidade, à recuperação dos químicos de processo e à produção de cal para o processo. A quantidade de partículas em suspensão no efluente gasoso, em 2013, teve um aumento de 6% face aos valores do ano anterior. Na emissão de gases acidificantes verificou-se uma redução global de 28% face a 2012, resultante na redução de 28% nos óxidos de enxofre libertados. A emissão de compostos de enxofre tem associada o forte odor pungente para o olfato humano, apesar de serem detetados em concentrações ínfimas no ar, da ordem de

grandeza de partes por bilhão. Embora seja impossível a sua completa eliminação, a indústria de pasta tem investido fortemente na redução das emissões deste tipo de gases.

Já nos gases com efeito de estufa (dióxido de carbono fóssil, metano e óxido nitroso) observou-se um aumento de 2% nas emissões totais, acompanhado por aumentos de produção, traduzindo-se numa redução de 2% nas emissões por tonelada de produto. Estas reduções têm sido possíveis, apesar do aumento da produção e consequente aumento do consumo de energia, devido aos aumentos de biomassa e de gás natural e à redução dos volumes de fuelóleo utilizados.

Como se sabe, a produção de resíduos sólidos resultantes do processo industrial está diretamente relacionada com o padrão de produção de pastas e papéis. Como destino dos resíduos sólidos destacam-se, em 2013, a aplicação de lamas e cinzas resultantes da queima de biomassa na agricultura e compostagem, correspondente a 13% do total de resíduos, a valorização por outras indústrias que representou 6% e a valorização energética, com 58% do total, ainda assim, a deposição em aterro absorveu 13% dos resíduos produzidos (CELPA, 2014).

3.2.1.5. Indicadores Energéticos

O setor industrial é um dos grandes consumidores de energia, sendo o sector da pasta e do papel um dos segmentos que contribui fortemente para dependência energética do país. De acordo com o Eurostat a dependência energética em Portugal em 2012 foi de 79,5%, sendo o sétimo país da EU-28 com maior dependência energética.

Na última década, a incorporação das preocupações energéticas ao discurso ambiental em resposta às metas estabelecidas no Protocolo de Quioto justifica o estudo da sustentabilidade energética industrial. Apesar da existência de diversas iniciativas dessas empresas em direção a sistemas de energia sustentáveis, os resultados sugerem que a sustentabilidade energética industrial ainda é um grande desafio, principalmente em termos de energias renováveis e eficiência energética.

Em 2013, verificou-se um aumento do consumo total de energia de 2,6%, acompanhado por aumentos de produção. No consumo de combustíveis fósseis confirmou-se também um aumento de aproximadamente 4%, resultante do aumento da produção referido anteriormente, bem como do aumento da produção de eletricidade por cogeração.

A tendência no aumento do consumo de gás natural manteve-se, representando 87% dos combustíveis fósseis. Já o consumo de fuelóleo apresentou um decréscimo acentuado em 2013, com uma redução de 39% face ao ano anterior representando assim cerca de 7% dos combustíveis fósseis utilizados.

Os biocombustíveis continuam a representar a fração dominante dos combustíveis consumidos por este sector, representando cerca de 69%, tendo o seu consumo crescido 2,3% em 2013. O principal destes combustíveis é o licor negro, subproduto da produção de pasta, que representou, em 2013, 83% dos biocombustíveis consumidos. O sector Pasta e Papel é o sector que mais biomassa utiliza no seu perfil de combustíveis (71,8%), quer quando comparado com as centrais termoelétricas (7,5%), quer quando comparado com os restantes sectores cogeneradores (1,8%).

O ano de 2013 revelou-se excedentário no sector da Pasta e Papel quanto à produção de eletricidade, uma vez que esta ultrapassou o consumo em cerca de 40%. O consumo de energia elétrica aumentou 1,7% face a 2012, sendo acompanhado pelo referido aumento de 2% na produção. A produção de eletricidade deste setor cifrou-se em 3,62 TWh, sendo responsável pelo fornecimento líquido de cerca de 1030 GWh.

A eletricidade produzida neste setor utiliza sistemas de cogeração, onde é feita uma produção combinada de calor para uso industrial e de eletricidade, dado que, esta é uma das formas mais eficientes de utilização de fontes primárias de energia (combustíveis). O sector da Pasta e Papel tem investido muito nestas tecnologias e é hoje o principal produtor por cogeração, representando cerca de 47% do total nacional. Os sectores cogeneradores foram responsáveis, em 2012, por 14% da eletricidade produzida no país, onde o sector da Pasta e Papel foi responsável pela produção de 6,5% do total nacional. Em termos de autossuficiência em eletricidade, este sector perfila-se como um dos poucos a nível nacional com o estatuto de autossuficiente (CELPA, 2014) (Maciel, 2008).

3.3. O Sector da Pasta e Papel no Mundo

A perspetiva geral do desenvolvimento das produções de produtos papéis na Europa e no Mundo, assim como, o posicionamento de Portugal num mercado cada vez mais global, é baseada sobretudo em informação disponibilizada pela CEPI (Confederação Europeia da Indústria Papeleira), a qual é constituída por 18 países entre eles Portugal,

representando 93% da produção industrial de pasta e papel europeia (CELPA, 2014) (CEPI, 2014).

3.3.1. Pastas para Papel

Da análise da situação em 2013, comparativamente a 2012, salienta-se a quebra de produção de pasta, especialmente mecânica e semi-química, em todas as regiões com exceção da pasta química no Brasil e Japão. Em prol desta situação, a produção europeia de pastas para papel sofreu uma diminuição de 2,2% face a 2012, caindo para os 37,3 milhões de toneladas.

Os principais países europeus produtores de pasta são, de forma destacada, a Suécia e a Finlândia, com 31,4% e 28,2% do total, respetivamente. Portugal ocupa o 4º lugar europeu na produção de pasta, com 6,7% do total. Se considerarmos apenas as pastas químicas, uma vez que Portugal não produz pastas mecânicas, o nosso país passa para 3º lugar europeu, com 9,3% da produção deste tipo de pasta.

Em 2013, 71,5% da produção europeia foi de pastas químicas, o que representa uma quebra de 1,4% face a 2012. As pastas mecânicas e semi-químicas representaram 27,8% da produção europeia que diminuiu 6,5%.

A maioria da pasta consumida na região CEPI (81,2%) foi produzida nessa mesma região, sendo a restante originária do Brasil (8,2%), EUA (3,8%), Chile (2,8%), Canadá (1,0%) e Rússia (0,8%). Os países da região CEPI são importadores líquidos de pasta com um balanço negativo a rondar, nos últimos 10 anos, os 5,3 milhões de toneladas anuais, mas que tem diminuído desde 2007. As principais origens da pasta importada são a América Latina e a América do Norte, e o principal destino da pasta exportada é a Ásia (CELPA, 2014) (CEPI, 2014).

3.3.2. Papel e Cartão

A análise da situação em 2013, comparativamente a 2012, mostra que, de uma forma geral, a produção de papel e cartão recuperou em todas as regiões e em todos os tipos, com exceção do papel de jornal. Os países que compõem a CEPI apresentaram em

2013 uma diminuição na produção de papel e cartão de 1,2% (-1,1 milhões de toneladas), para 92,1 milhões de toneladas. É notória uma alteração na distribuição do consumo mundial de papel, com diminuições, entre 2007 e 2012, na Europa e Estados Unidos da América e aumentos em todas as outras regiões.

Os principais países europeus produtores de papel e cartão são a Alemanha, a Suécia e a Finlândia, com 24,6%, 11,8% e 11,6% do total, respetivamente. Quanto a Portugal ocupa o 11º lugar europeu na produção de papel e cartão, com 2,3% do total. No entanto, se apenas considerarmos a produção de papel e cartão não revestido, que representa 71,7% da produção nacional, Portugal avança para o 2º lugar europeu, com 16,8% do total deste tipo de papel.

Em 2013, 45,9% da produção europeia foram papéis para embalagem cuja produção aumentou 2,6% face a 2012. Seguem-se os papéis para usos gráficos, que representam 32,9% do total e cuja produção diminuiu 5,0%. A maioria do papel consumido na região CEPI (93,7%) foi produzida nessa mesma região, sendo o restante originário dos EUA (1,6%), Rússia (0,6%), Brasil (0,4%) e Canadá (0,3%).

Os países da região CEPI são exportadores líquidos de papel, com um balanço positivo médio, nos últimos 10 anos, a rondar os 13 milhões de toneladas anuais. Relativamente às importações, as principais origens do papel importado são os outros países europeus e a América do Norte, e os principais destinos os outros países europeus e a Ásia (CELPA, 2014) (CEPI, 2014).

3.3.3. Papel para Reciclar

Ao longo dos últimos anos tem-se verificado uma evolução na reciclagem de papel em indústrias papeleiras na zona CEPI, em 2013, a reciclagem em fábricas de papel representou 60,6% do total, sendo que 22% não era recuperável.

A utilização de papel reciclado na EU-27 ficou abaixo dos 60%, enquanto a taxa de reciclagem que sofreu um aumento significativo desde 1991 (31,4%), alcançou os 71,7%.

Em 2013, a utilização de papel reciclado teve um total de 47,5 mil toneladas, onde os principais países deste uso foram: a Alemanha (34,7%), a França (10,9%) e a Espanha (10,8%).

Os países da região CEPI são exportadores líquidos de papel para reciclar, com um balanço positivo médio, nos últimos 10 anos, a rondar os 8 milhões de toneladas anuais, sendo o principal destino a Ásia com 93,5% do total das exportações, mais concretamente a China. As restantes exportações destinam-se principalmente para o resto da Europa, que representam 6,0% do total.

As importações de papel reciclado são oriundas sobretudo do resto da Europa, que apesar de ter diminuído 1,3% em 2013, fixou-se em 86,9%, seguindo-se a América do Norte com 10,6% do total das importações realizadas (CELPA, 2014) (CEPI, 2014).

Porém, as projeções esperadas são que o consumo mundial de papel e cartão tenham um crescimento anual de 1,6% até 2025, atingindo aproximadamente 496 milhões de toneladas. No entanto, este aumento surge em mercados crescentes dos quais se destacam: a China, o Brasil, a Índia e a Rússia. Prevê-se que estes países sejam responsáveis, em 2020, por 28% do consumo global de papel e cartão.

Consciente do rumo que o consumo mundial de cartão está a tomar, metade das embalagens de cartão multiplex produzidas na Prado Karton têm como destino o mercado externo, sendo naturalmente os remanescentes 50% expedidos para mercado interno. Em 2011, a exportação era realizada na sua maioria para a Espanha (48%), seguida do Reino Unido (40%), sendo os restantes 12% repartidos pela Alemanha, Itália, Reino Unido, Suíça, entre outros.

4. Metodologia

Como referido anteriormente, este estágio incidiu sobretudo na área de controlo de qualidade do produto acabado, onde os diversos ensaios realizados decorreram no laboratório de ensaios de matérias-primas e características físico-mecânicas dos produtos da Prado Karton.

Neste contexto, este capítulo é dedicado às propriedades do cartão e aos ensaios usados para a sua avaliação. Essas propriedades ou características podem ser de natureza mecânica, ótica, elétrica, química e estrutural. Assim, são analisados vários parâmetros do produto para uma melhor caracterização do mesmo, de forma a assegurar a sua qualidade.

Visando o seu uso final, o cartão é comercializado com base em especificações, previamente definidas e do conhecimento do cliente, podendo ainda estabelecer-se um acordo, de forma a ir ao encontro das necessidades do cliente. Para examinar e assegurar a conformidade e a qualidade definida pela especificação, é necessário estabelecer-se métodos de ensaio e de análise, os quais têm de ser realizados em condições específicas, usando os equipamentos apropriados. Estes ensaios usados, tanto no controlo do processo, como no controlo da qualidade devem ser precisos e exatos, dando especial apreço à simplicidade e rapidez de execução.

Todos os métodos de ensaio realizados pela empresa em questão regem-se de acordo com as referências normativas, atualmente em vigor, mais adequadas a cada situação. Na impossibilidade de descrever em detalhe todos os ensaios realizados, ir-se-á dar particular atenção apenas aos ensaios realizados durante este estágio e com interesse para uma melhor compreensão da obtenção de um produto de qualidade.

4.1. Procedimento Experimental

Para realizar os ensaios, é necessário obter amostras representativas do material a ser testado, assim, no final de cada bobina de máquina, após retirar as camadas exteriores que se encontrem danificadas, são cortadas amostras a toda a largura da bobina, identificando o lado de condução (LC) e o lado de transmissão (LT), sendo depois obtidas as folhas-amostra (retângulos de cartão, cortados a partir da bobina) para controlo remoto e

para observação da formação. As amostras devem ser claramente identificadas de modo a não haver margem para dúvidas relativamente à sua origem.

As amostras, após a recolha, devem ser protegidas para não haver alteração das propriedades, visto estas serem resultantes de interações de um grande número de fatores, tais como: as fibras usadas; o processo de obtenção e branqueamento da pasta celulósica; as matérias-primas não fibrosas; o tratamento mecânico dado às fibras na preparação da massa; o processo de formação da folha, prensagem e secagem.

Para a obtenção de um produto com determinadas características, estas variáveis são ajustadas, o que significa, estabelecer um compromisso entre diversas propriedades. Há que ter em conta também, que certas características, como a resistência à humidade, só podem ser desenvolvidas com a adição de aditivos químicos ou pela aplicação de um revestimento. Estas propriedades são afetadas tanto pela quantidade e tipo de agentes aditivos e outros, incorporados à pasta, quanto pela quantidade e tipo de materiais usados no revestimento. No entanto, fatores externos como o excesso de calor e luz, ou exposição a vapor ou líquidos podem condicionar as propriedades do cartão.

Neste sentido, as amostras são conservadas planas, isentas de vincos ou dobras e protegidas da exposição direta à luz solar, das variações de humidade e de qualquer outra influência nociva.

Dado o efeito pronunciado da humidade em relação às propriedades físicas do cartão, tornando-o muito seco ou muito húmido e, conseqüentemente, quebradiço ou flexível, respetivamente, a realização dos ensaios é feita numa atmosfera condicionada, com uma temperatura que ronda os 23°C e uma humidade relativa de 50%.

Devem, ainda, ser tomadas precauções durante a manipulação das amostras dado que, o simples contacto com as mãos pode influenciar, de modo apreciável, as características químicas, físicas e superficiais do cartão.

De realçar que, como os dois lados do cartão (cobertura e verso) diferem na sua composição, apresentam, obviamente, características físicas, especialmente óticas, diferentes, sendo esta diferença de textura visível por observação direta. Para além disso, o cartão apresenta também duas direções de fabricação distintas. A direção longitudinal, que é no sentido do movimento da tela na máquina formadora de papel (DM), e a direção transversal, que é a direção perpendicular ao movimento da tela na máquina de papel (DT).

4.1.1. Determinação da Gramagem

Esta pode ser considerada a característica mais básica do cartão. Apesar de a produção ser contabilizada em quilogramas ou toneladas e, consequentemente, o cálculo do preço do produto, quando chega ao consumidor final, este tem interesse é na área disponível, ou seja, na relação entre o peso e a superfície do produto – a gramagem – expressa em gramas por metro quadrado.

Este método segue como norma de referência a NP 796 e a ISO 536.

Técnica

Da amostra recolhida a toda a largura da bobina de máquina, corta-se, com o auxílio de uma guilhotina, dez provetes quadrados com 22,45 cm de lado, identificando-os sequencialmente de 1 a 10, correspondendo ao n.º 1 a amostra do lado da condução (LC) e ao n.º10 a lado da transmissão (LT).

Em seguida, pesa-se numa balança técnica cada um dos provetes individualmente, anotando no boletim de registo de ensaio o valor da gramagem obtido para cada posição. A gramagem (g), expressa em g/m², é calculada da seguinte forma (equação 1):

$$g = \frac{m}{A} \times 10\,000 \quad (1)$$

em que,

m – massa do provete, em g

A – área do provete, em cm²

Para a determinação média da gramagem, deve pesar-se o conjunto das 10 amostras e dividir o valor obtido pelo número total de amostras, sendo este valor comparado com a leitura feita pelo sensor.

De modo a ir ao encontro das necessidades de cada cliente, a gama de gramagem dos produtos fabricados na Prado Karton pode variar entre 200 e 600 g/m².

4.1.2. Determinação da Espessura

Esta característica do cartão é importante no produto final, em especial, para embalagens que sejam depois submetidas a um processo de impressão.

A espessura é afetada pela composição fibrosa, grau de refinação e, principalmente, pela calandragem; por sua vez, afeta as propriedades mecânicas e óticas do papel e é relevante no desempenho de papéis para fins elétricos.

Este processo consiste na medição da espessura de folhas simples sob uma carga estática específica, utilizando um micrómetro padronizado. O micrómetro é composto por duas placas de contacto de pressão, circulares, planas, paralelas, entre as quais se coloca a folha de cartão para medição. Um das placas de contacto está fixa e a outra move-se numa direção perpendicular ao plano de contacto da placa fixa.

A espessura de uma folha é, portanto, a distância entre as duas faces do cartão, determinada sob uma carga estática.

Este método segue como norma de referência a NP EN 20534.

Técnica

Da amostra recolhida cortar 10 provetes quadrados com 22,45 cm de lado, identificando-os sequencialmente de 1 a 10, correspondendo ao n.º 1 a amostra do lado da condução (LC) e ao n.º10 a lado da transmissão (LT). Para este ensaio usa-se normalmente as amostras utilizadas para a determinação da gramagem.

Pressionado a alavanca para baixo, a placa móvel sobe e introduz-se o provete a ensaiar entre as placas de contacto, de modo a que este fique entre as placas de contacto sobre pressão, registando-se em seguida o valor da leitura indicado no mostrador.

Para cada provete efetua-se 5 medições, em 5 posições distribuídas, no centro e pelos cantos, distanciadas pelo menos 2 cm de qualquer das extremidades, calculando-se o valor médio inteiro obtido.

O resultado final é a média dos valores obtidos para os 10 provetes, sendo este registado no boletim de registo de ensaio, em μm , e comparado com o valor apresentado pelo sensor.

É frequente determinar-se também o volume específico do cartão, comumente conhecido como Índice de Mão, o qual pode ser calculado de acordo com a equação 2. Este é, não só facilmente relacionável com a estrutura macroscópica do cartão, como também com a sua resistência e densidade, sendo por isso considerado uma das mais importantes propriedades do cartão.

$$\text{Índice de Mão} = \frac{\text{espessura}}{\text{gramagem}} \quad (2)$$

4.1.3. Determinação da Rigidez Taber

A rigidez é a medida de força necessária para fletir de um determinado angulo um provete fixo numa das extremidades, sendo a força aplicada a um comprimento de flexão constante, ou seja, resistência à flexão.

O rigidímetro Taber (Figura 52) consiste num compartimento com o motor, o disco móvel e uma escala angular de 15° / 7.5° / 0° / 7,5° / 15°. Dois roletes estão rigidamente ligados ao disco móvel e pelo seu ajuste pode adaptar-se o comprimento de flexão. O pêndulo, com as massas cambiáveis, está montado no mesmo eixo do disco móvel e suporta duas maxilas, centradas com o centro de rotação. Sendo o disco móvel comandado pelo motor existente na retaguarda do aparelho.



Este método segue como norma de referência a ISO 2493 e ISO 5628.

Figura 52 – Rigidímetro Taber.
Fonte: Riteca

Técnica

Da amostra recolhida da bobina, corta-se 2 provetes, um em cada direção, DM (direção máquina) e DT (direção transversal), com 38 mm de largura e 70 mm de comprimento, num instrumento de corte próprio para o efeito.

De seguida, faz-se o ajuste da carga necessária para a medida a efetuar, através da introdução de uma massa no suporte do pêndulo. Cada uma das massas possui um peso diferente, admitindo uma gama de valores de rigidez diferente.

Após a escolha adequada da massa, o provete é inserido nas maxilas, para que fique suportado pelo apoio. Encosta-se o apoio aos roletes, no momento de apertar, aliviando logo em seguida. Ao apertar as maxilas, deve fazer-se de forma a que o provete fique perfeitamente centrado entre os traços, devendo os roletes ficar o mais próximo possível do cartão sem o prender.

Depois de apertado o provete, carregar no botão “run” para iniciar o movimento do disco. Ao deslocar o pendulo, o provete é fletido e o ponto máximo é alcançado quando 15° do disco angular está em concordância com a marca do pêndulo.

É, finalmente, apresentado o valor médio da leitura, após o provete ter rodado para o lado esquerdo e para o lado direito.

Por último, repete-se o procedimento anteriormente descrito para o provete cortado na outra direção.

Depreende-se, assim, que para determinar a rigidez de um tipo de cartão, esta é composta por dois valores, um do sentido fibra (DM) e outro do sentido contra-fibra (DT). Sendo naturalmente, o valor DM sempre superior ao valor DT e apresentado em gf.cm. Para converter o resultado em unidades S.I. (mN.m), basta dividir o valor obtido em gf.cm por 10,197.

4.1.4. Determinação da Absorção de Água (Método Cobb)

Este método tem como objetivo determinar a quantidade de água que o cartão pode absorver em certas condições. Baseia-se, essencialmente, na pesagem de um provete antes e depois da exposição à água de uma das faces durante um determinado tempo, seguido de secagem.

O aparelho consiste numa simples base rígida com uma superfície lisa e plana num cilindro metálico com um diâmetro interior de $112,8 \pm 0,2$, munido de um dispositivo que permite fixá-lo solidamente à base. O bordo do cilindro em contacto com o provete deve

ser plano e polido com uma espessura suficiente para não cortar o provete. A altura do cilindro é importante para poder conter uma quantidade de água específica.

Este método segue como norma de referência a NP EN 20535.

Técnica

Da amostra recolhida da bobina, cortar dois provetes quadrados isentos de dobras, vincos ou outros defeitos, com a largura de 12,5 mm. Devendo neste processo, evitar-se o contacto das mãos com a superfície do cartão.

Antes de iniciar o ensaio, deve sempre verificar-se que a base e o bordo do cilindro estão secos. Posto isto, pesa-se o provete numa balança e, em seguida, coloca-se sobre a base com a face a ensaiar para cima. O cilindro é então colocado sobre o provete, fixando-se firmemente para evitar fugas de água entre o cilindro e o provete. É deitado 100 mL de água destilada no cilindro, acionando-se de imediato o cronómetro.

O tempo do ensaio é definido consoante a capacidade de absorção e a natureza particular do cartão considerado (Tabela 4). Sendo o Cobb₆₀, o mais comum e, por isso, servir este de exemplo.

Tabela 4 – Tempos de ensaio

Tempo de ensaio (s)	Designação	Retirada da Água (s)	Início da Secagem (s)
30	Cobb ₃₀	20 ± 1	30 ± 1
60	Cobb ₆₀	45 ± 1	60 ± 2
120	Cobb ₁₂₀	105 ± 2	120 ± 2
300	Cobb ₃₀₀	285 ± 2	300 ± 2

Escolhido o tempo de 60 s, a água no cilindro deve ser retirada após 45s, evitando o contacto da água com a parte exterior à superfície de ensaio, devendo depois desapertar-se rapidamente o cilindro e retirar o provete. O provete, por seu turno, é colocado com a face ensaiada para cima sobre uma folha de papel mata-borrão, que se encontra sobre uma superfície rígida.

Passados 60s após o início do ensaio, colocar uma segunda folha de papel mata-borrão sobre o provete removendo o excesso de água ao passar com um rolo de metal

polido, de 200 mm de comprimento, 90 ± 10 mm de diâmetro e uma massa de $10 \pm 0,5$ kg. A passagem com o rolo é feita duas vezes, ida e volta, sem exercer pressão sobre o mesmo.

Imediatamente após a secagem, o provete é dobrado em dois, com o lado húmido para o interior e novamente pesado.

O processo repete-se para o ensaio do outro provete, em que será testada a outra face.

Sempre que os provetes apresentarem uma das seguintes condições, estes serão automaticamente rejeitados:

- Provetes que sejam atravessados pela água;
- Sinais de fuga de água em volta da zona de fixação do cilindro;
- Provetes que contenham água em excesso após secagem (superfície brilhante).

A absorção de água para cada provete, A , é calculada em g/m^2 , com uma casa decimal, através da equação 3:

$$A = (m_2 - m_1) \times F \quad (3)$$

em que,

m_1 – massa seca do provete (g)

m_2 – massa húmida do provete (g)

F – relação 10 000 / área de ensaio (100 cm^2 para o aparelho em questão)

Por fim, procede-se ao registo no boletim do valor obtido para cada uma das fases.

4.1.5. Teste de Destacamento entre Camadas

O teste de destacamento entre camadas consiste em submeter uma amostra a uma força de forma a provocar a delaminação entre as várias camadas que compõem o cartão, sendo executado num aparelho adequado ao efeito. O referido teste tem como objetivo apurar a adesão entre as várias camadas e, assim, ter um conhecimento mais apurado do produto fabricado.

Técnica

Da amostra retirada no final de cada bobina são cortados 3 provetes, sendo a maior dimensão no sentido da fibra.

Nas duas extremidades de cada um dos provetes (no sentido da fibra) e com o auxílio de uma lâmina inicia-se a delaminação do cartão entre as camadas, destacando-se no primeiro provete cobertura/interior (C/I), no segundo interior/interior (I/I) e no terceiro provete interior/verso (I/V).

Depois de ligado o aparelho (Figura 53), coloca-se o primeiro provete a ensaiar sobre o cilindro com a face da cobertura virada para cima e, prendendo ao cilindro as suas extremidades com fita-cola, deixando livre a camada cuja delaminação se iniciou.

Antes de iniciar o movimento de delaminação do provete a extremidade da camada delaminada é presa numa mola. Ao longo do ensaio o ponteiro vai-se deslocando ao longo da escala, terminando no momento em que o ponteiro atinge um valor estável.

O par de valores entre os quais o ponteiro oscila é registado e realiza-se, em seguida, o ensaio para a outra extremidade do provete. Sendo depois, efetuado o ensaio descrito nos restantes provetes para cada uma das camadas em falta.

Por fim, é registado no boletim de registo de ensaios o resultado médio das duas extremidades de cada uma das camadas: C/I, I/I e I/V.



Figura 53 – Aparelho para o destacamento entre camadas da Prado Karton.

Fonte: Própria

4.1.6. Determinação da Rugosidade e Porosidade Bendtsen

A finalidade deste ensaio é de exprimir, numericamente, a existência de irregularidades na superfície do cartão, que possam afetar o seu desempenho e o seu uso final. Para isso, é utilizado o aparelho Bendtsen que mede, tanto a rugosidade, como a porosidade. Pode dizer-se que a rugosidade é a medida de caudal de ar que passa entre uma

cabeça de medida circular plana e a superfície do cartão, sendo o ensaio realizado nas condições especificadas anteriormente e, sob pressão determinada. A porosidade define-se como uma medida de caudal de ar que atravessa uma superfície bem definida do cartão, nas condições já referidas.

O aparelho Bendtsen (Figura 54) é constituído por uma parte fixa e 3 tubos rotâmetros e válvulas de comutação. Assim como, uma cabeça para medir a rugosidade e o aparelho para medida da porosidade com duas peças de pressão para uma superfície de 5 e 10 cm². O compressor produz uma sobrepressão podendo ser regulado a 7,5 / 15 / 22,5 mbar através de 3 manómetros. A velocidade do caudal de ar é medida pelos 3 rotâmetros paralelamente sobre as válvulas, cobrindo três intervalos de medida: 10-150 ml/min; 40-500 ml/min e 300-3000 ml/min. O aparelho possui ainda, uma caixa de acessórios que compreende um capilar de controlo para testar os rotâmetros estando o valor de comparação registado no próprio capilar. Os acessórios compreendem igualmente a massa suplementar para pressões de ensaio de 50 N/cm², podendo ser utilizada para medir a rugosidade logo que a pressão de ensaio de 10 N/cm² não seja suficiente.

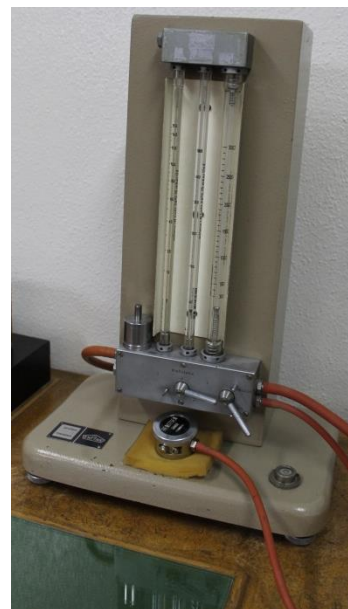


Figura 54 – Aparelho Bendtsen da Prado Karton.

Fonte: Própria

Este método segue como norma de referência a ISO 8791/1 e a ISO 8791/2.

Técnica da Rugosidade

Após a colheita da amostra no final do fabrico, cortam-se 5 provetes quadrados de dimensão mínima de 7,5 cm. A superfície de ensaio não deve possuir qualquer tipo de dano e, há que ter em atenção, não tocar na respetiva superfície.

Antes de ensaiar a amostra, coloca-se a válvula de comutação na posição mais baixa, de modo a seleccionar o rotâmetro mais adequado que permita a leitura na parte superior da escala. Com precaução, coloca-se a cabeça de medida da rugosidade sobre a placa de vidro e, de seguida, liga-se o fluxo de ar, tendo o cuidado de confirmar que os rotâmetros indicam o valor zero.

Sobre uma placa de vidro polida, coloca-se a amostra a ensaiar e, sobre esta o peso para que fique perfeitamente plana. Em seguida, coloca-se a cabeça de medida sobre a amostra, evitando qualquer tipo de pressão.

Uma vez conectado o fluxo de ar, aplicar-se o peso monostático marcado com 15 mbar, esperando que o rotâmetro alcance o seu regime permanente de rotação e sem vibrações, anotando-se a leitura indicada pelo bordo superior do rotor.

Quando o rotor sai da escala, modifica-se a posição da alavanca para seleccionar outro rotâmetro (outra escala), de forma a efetuar a leitura.

No final, é feita uma média dos resultados obtidos, registando-se no boletim de registo de ensaios os valores de rugosidade obtidos para cada face em ml/min, assim como, os valores máximo e mínimo obtidos.

Técnica da Porosidade

O ensaio da porosidade realiza-se com a válvula de comutação para cima e a outra válvula na posição média, a 15mbar.

A amostra é colocada no aparelho de medida da porosidade entre a unidade de pressão e o anel de borracha, apoiando os dedos sobre a alavanca até se obter um resultado constante.

No final, é feita uma média dos resultados obtidos, registando-se no boletim de registo de ensaios os valores de porosidade obtidos em ml/min.

4.1.7. Determinação do Brilho

Entende-se como brilho a propriedade da superfície do cartão de refletir a luz especularmente, ao invés de difundi-la em todas as direções. O brilho é conferido ao papel, principalmente, pela calandragem. No caso do cartão com revestimento, o valor do brilho é influenciado pelas dimensões e formas das partículas dos pigmentos usados na tinta de revestimento.

A determinação do brilho do papel é realizada com o auxílio do aparelho portátil Photovolt (Figura 55), em que a luz incide sobre a superfície da amostra num ângulo de 75° e a luz refletida é medida fotoelectricamente.

O aparelho Photovolt é constituído pela unidade de medida e pela caixa de proteção. A caixa de proteção é usada para efetuar a calibração e para colocar a unidade de medida quando esta não está a ser utilizada. O padrão requerido para a calibração está fixo e protegido, posicionado de modo que a calibração é sempre feita no mesmo ponto.

Este método segue como norma de referência a ASTM D 1223.



Figura 55 – Aparelho Photovolt da Prado Karton.

Fonte: Própria

Técnica

Ao ligar o aparelho, no botão “mode”, este pede para ser calibrado, carregando-se em seguida em “operate”, sendo a calibração efetuada automaticamente.

De seguida, mede-se o brilho superficial do cartão, executando-se 5 medidas em cada uma das direções (DM e DT). Para isso, é selecionado o “statistic mode”, que faz as medições sucessivas e automaticamente a sua média.

Por fim, regista-se o valor médio obtido para cada uma das direções no boletim de registo de ensaios.

4.1.8. Determinação da Brancura

A brancura é determinada através de um espectrofotómetro de feixe duplo concebido para dar informação sobre a refletância com intervalos de 10 nm num espectro visível de 400 a 700 nm.

O espectrofotômetro (Figura 56) é composto por um óculo e interruptor do óculo, utilizado para o posicionamento de precisão das amostras, luzes de controlo, que mostram as condições correntes do instrumento, ajustamento de aberturas, mantidos no lugar através de um íman, e uma lâmpada xénon pulsada filtrada a “quase D65”¹, cobrindo os UV.

Técnica

As amostras de controlo remoto antes de serem armazenadas, são utilizadas para a medição da brancura ISO, visto este ser um ensaio em que não ocorre degradação da amostra.

Antes de proceder a qualquer medição, o instrumento tem que estar sempre calibrado relativamente padrões de referência ISO, que consistem em blocos de papel acompanhados de um certificado de calibragem, fornecido em base regular. Sendo os padrões, um padrão não-refletante, uma cavidade negra (de 0% de refletância) e um padrão de referência branco.

Depois de calibrado, a amostra é colocada sobre a base metálica do espectrofotômetro, que desce com o auxílio do ajustamento de aberturas, onde permanece até realizada a medição.

Com a colaboração de um *software*, onde a amostra é identificada, é dado a ordem para proceder à medição.

A amostra é iluminada difusamente e a refletância resultante é medida num ângulo de 0°C. Cada medição é feita com uma condição de instrumento especificada, sendo o resultado 31 valores de refletância entre 400 e 700 nm medidos com um filtro de “quase D65”. Estes valores em bruto são convertidos matematicamente em valores colorimétricos, correspondendo à brancura de cada amostra um único valor apenas.

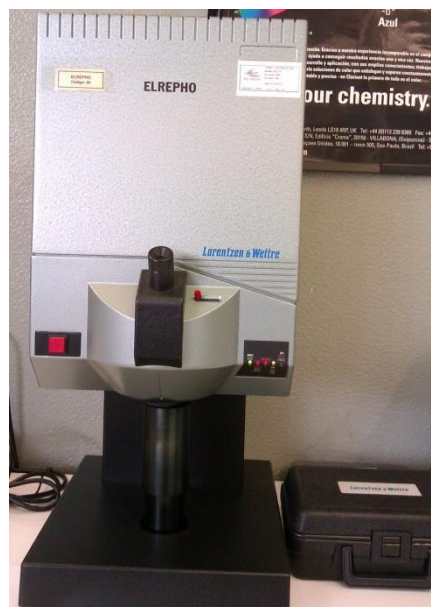


Figura 56 – Espectrofotômetro da Prado Karton.

Fonte: Própria

¹ “quase D65” – a luz da lâmpada é filtrada próximo de D65 (luz do dia)

Depois de efetuada a medição, é apresentado um conjunto de valores relativamente à amostra, em que um deles é a brancura ISO.

Para se obter um valor de brancura o mais próximo da realidade possível, efetuam-se 5 medições sucessivas, em diferentes locais da amostra, sendo o valor final apresentado a média dos ensaios realizados. Procede-se, por fim, ao registo desse valor no boletim de registo de ensaios.

4.1.9. Determinação do Teor de Humidade

Este método aplica-se a todos os tipos de cartão que não contenham outras substâncias, exceto água, que se libertem à temperatura especificada para o ensaio.

A humidade é a quantidade de água contida no cartão. Na prática, é entendida como a razão entre a perda de massa do provete quando seco nas condições de ensaio normalizadas e a massa no momento da amostragem, sendo normalmente expressa em %.

O processo consiste na pesagem do provete no momento da amostragem e, novamente, após secagem, até obtenção de massa constante.

Este método segue como norma de referência a NP EN 20287.

Técnica

Cortar em 10 provetes do mesmo tamanho, uma amostra retida a toda a largura da bonina, numerando-os de 1 a 10, sendo o primeiro o do lado da transmissão.

Antes de colocar todos os provetes na estufa a uma temperatura de $105 \pm 2^\circ\text{C}$, estes são previamente pesados. Uma vez dentro da estufa deve-se assegurar de que estes estão separados, de modo a permitir a livre circulação de ar durante a secagem. O período de secagem para cada amostra deve ser de 24 h, ou até que a diferença obtida entre duas pesagens sucessivas não exceda 0,1% da massa inicial do provete.

Após a secagem, retiram-se os provetes da estufa para serem pesados. Sendo, o teor de humidade é obtido através da equação 5:

$$\text{Teor de Humidade (\%)} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (4)$$

Em que,

P_i – peso inicial do provete

P_f – peso final do provete

Os valores obtidos são depois reunidos e representados graficamente, de modo a observar-se a variação do teor de humidade ao longo da largura da máquina, podendo ser comparados com os valores obtidos pelo sensor que se encontra incorporada na máquina de fabrico e, eventualmente, servir para uma calibração deste último.

4.1.10. Determinação do Teor de Cinzas

O teor de cinzas consiste na quantidade de resíduo que deixa uma matéria após a sua incineração. A cinza pode ser proveniente da pasta com a qual o cartão é feito, da carga ou material de enchimento empregado e de componentes do revestimento ou da colagem. O processo resume-se à incineração de uma amostra de cartão de massa conhecida, depositada no incinerador, até combustão total, onde são obtidas as cinzas. Os resultados, segundo este método, representam as cinzas totais provenientes de todas as matérias minerais presentes no cartão.

Este método segue como norma de referência a NP 36 e a ISO 2144.

Técnica

Depois de ligado o incinerador (Figura 57), deve esperar-se cerca de 10 min., até se observar que a resistência interna está ao rubro.

Neste compasso de espera, pesa-se o provete, que deve ter cerca de 35 g, de modo a originar uma quantidade de cinzas de pelo menos 10 mg.

O provete é introduzido no incinerador, onde fica até combustão total, o que é indicado pela ausência de partículas negras nas cinzas, entre 10 a 15



Figura 57 – Incinerador da Prado Karton.

Fonte: Própria

min.

Após a combustão, retira-se as cinzas para dentro de um cadinho de porcelana previamente pesado, pesando-se em seguida o conjunto (cadinho + cinzas).

O teor de cinzas, expresso em percentagem de massa, é dado pela equação 4:

$$\text{Teor de Cinzas (\%)} = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (5)$$

onde,

m_0 – massa da amostra (g)

m_1 – massa do cadinho (g)

m_2 – massa do cadinho + cinzas (g)

Toma-se como resultado a média aritmética de duas determinações, providenciando para que não haja uma diferença de mais de 5% da média.

Este ensaio é também realizado a todas as pastas que chegam à fábrica para posterior utilização no processo, para assim, a empresa ter conhecimento do teor de cinzas que cada pasta utilizada no fabrico de cartão possui, de modo a otimizar da melhor forma as várias etapas do processo, para obtenção de um produto de excelência.

4.1.11. Determinação da Resistência Superficial: Velocidade de Arrancamento IGT

Este teste destina-se a cartões revestidos, destinados à impressão, utilizando um aparelho IGT de pêndulo, consistindo na impressão de uma tira de cartão sob uma força constante, a uma velocidade crescente e com uma tinta específica.

Existem alguns conceitos neste caso que são importantes para um melhor entendimento do ensaio. O arrepelamento é a rotura da superfície do cartão durante a impressão, quando a força de tração aplicada exteriormente é maior do que a coesão da superfície do cartão. No caso do cartão revestido, a rotura pode manifestar-se sob a forma de partículas do revestimento ou de fibras total ou parcialmente, arrancadas da folha, por destacamento da superfície. Pode, ainda, ocorrer a deslaminização, o que muitas vezes é

notado independentemente do arrepelamento. Assim sendo, a resistência do arrepelamento é a velocidade mínima do aparelho à qual se produz arrepelamento do cartão.

O aparelho IGT é constituído por duas partes distintas (Figura 58), um dispositivo de tinta que permite distribuir uma película de tinta sobre um rolo impressor e, um aparelho de impressão acionado por um pêndulo.

O rolo distribuidor utilizado para a aplicação da tinta é de poliuretano, sendo o disco impressor de alumínio recoberto por uma camada de tinta, uniforme, com uma espessura de $7,6 \pm 0,6 \mu\text{m}$, que corresponde à aplicação de 1 ml de tinta.

O aparelho de impressão é constituído por um setor de 150° com um raio de 85 mm coberto com uma almofada normalizada, sob a qual o provete é fixado. O setor roda a uma velocidade crescente em contato com um disco, que exerce sobre o provete uma forma regulável até $392 \pm 10 \text{ N}$.

Técnica

Da amostra retirada do fim de máquina corta-se 2 provetes, um em cada direção (DM e DT) da amostra, cada um com 305 mm x 25 mm, devidamente identificados.

Antes de começar o ensaio deve-se apertar a pinça, ajustar a almofada e regular a pressão, introduzindo o provete na pinça de forma que fique plano na almofada de borracha.

Com uma seringa aplica-se 1 ml de tinta sobre o rolo distribuidor, deixando rodar durante 10 min. de forma a obter uma distribuição homogénea de tinta. Sendo esta quantidade de tinta a suficiente para a realização de 10 ensaios consecutivos. Depois coloca-se o disco de impressão no braço do eixo que roda, durante 30s., para distribuir a tinta.

No eixo do aparelho é colocado o disco de impressão com a tinta distribuída, roda-se o manípulo e a escova para pôr em contacto o provete sobre o sector e a impressão é feita deixando cair o pêndulo.

Por fim, repete-se o processo com o outro provete, tendo o cuidado de limpar os discos de impressão com um pano embebido num solvente de limpeza apropriado e, de seguida, com um pano seco, entre os ensaios.



Figura 58 – Aparelho de IGT da Prado Karton.

Fonte: Própria

Quando se verifica que à velocidade máxima não existe arrepelamento, pode aumentar-se a força aplicada à superfície do cartão, através da utilização de uma tinta de viscosidade mais elevada, caso uma questão de interesse para o estudo realizado.

No caso de não existir arrepelamento, no resultado indica-se o número da tinta e a velocidade máxima de impressão utilizada no ensaio, num impresso próprio onde são colocadas as amostras após o ensaio.

Quando há arrepelamento, no resultado deve indicar-se o tipo de arrepelamento (partículas de revestimento, fibras, deslaminação) o número da tinta e a velocidade de arrepelamento utilizada, num impresso próprio onde são colocadas as amostras após o ensaio. Devendo, ainda, neste caso considerar-se os seguintes fatores:

- O início do arrepelamento corresponde ao primeiro sinal visível de deterioração da superfície plana impressa;
- Os pontos arrancados separados de pelo menos 20 mm da zona principal de arrepelamento, não são considerados como representantes do seu início;
- Não se consideram aceitáveis os valores obtidos no caso do arrepelamento se iniciar a menos de 20 mm do início da tira impressa;

4.1.12. Determinação do Brilho de Impressão

Este processo consiste na medição do brilho 24 h após a impressão de uma tira de cartão, sob uma força constante, a uma velocidade crescente e com uma tinta específica, realizado no aparelho de IGT anteriormente descrito.

Técnica

São cortadas duas provetes, da amostra recolhida no fim de máquina, um em cada direção, com 305 mm x 25 mm.

Antes de começar o ensaio aperta-se a pinça, ajusta-se a almofada e regula-se a pressão, introduzindo o provete, devidamente identificado, na pinça. Coloca-se o setor na posição de partida mantendo a tira de cartão a ensaiar alinhada com o setor plano assente na almofada de borracha.

Com uma seringa aplica-se 1,73 ml de tinta à esquerda e 1,16 ml de tinta à direita sobre os rolos distribuidores, deixando rodar durante 10 min. de forma a obter uma distribuição homogênea de tinta (Figura 58). Sendo esta quantidade de tinta a suficiente para a realização de 20 ensaios consecutivos. Depois coloca-se o disco de impressão no braço do eixo que roda, durante 30s à esquerda e 30s à direita.



Figura 59 – Uso dos rolos distribuidores para a determinação do brilho de impressão.

Fonte: Própria

No eixo do aparelho é colocado o disco de impressão com a tinta distribuída, roda-se o manípulo e a escova para pôr em contacto o provete sobre o sector e a impressão é feita deixando cair o pêndulo.

Por fim, repete-se o processo com o outro provete, tendo o cuidado de limpar os discos de impressão com um pano embebido num solvente de limpeza apropriado e, de seguida, com um pano seco, entre os ensaios.

Após 24h de secagem, mede-se o brilho obtido no primeiro terço de impressão com o aparelho Photovolt, mencionado anteriormente. O registo dos resultados obtidos é escrito num impresso próprio onde são colocadas as amostras após o ensaio.

4.1.13. Determinação da Resistência às Gorduras

Este teste tem como finalidade testar o cartão as várias tipos de soluções, de modo a saber qual a sua resistência à absorção de gorduras.

O método consiste na preparação de várias soluções contendo diferentes proporções de óleo de castor, tolueno e heptano, determinando qual a solução de maior número que não mancha a superfície do cartão. Sendo que o kit n.º 1 é o mais fraco evoluindo até ao n.º 12 que é o mais forte.

Este método segue como norma de referência a T 559cm-02.

Técnica

Colocar a amostra a testar sobre uma superfície plana, com a face a ensaiar virada para cima, tomando cuidado para não tocar na área a ensaiar.

Seleciona-se uma solução de teste de número intermédio e deita-se uma gota sobre a amostra de cartão a testar. Passados 15s, com papel absorvente, remove-se a gota e observa-se a área molhada.

A não resistência do cartão às gorduras é evidenciada por uma mancha escura causada pela penetração na zona onde foi aplicada a gota.

Repete-se o procedimento utilizando outras soluções até se determinar a de número mais elevado à qual o cartão resiste, não mancha.

5. Análise Estatística

Neste capítulo é analisada estatisticamente a variável rigidez, importante no controlo de qualidade do cartão, recorrendo ao *software* estatístico IBM SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*) versão 21. O estudo em questão destina-se a três dos mais recentes tipos de papel fabricados pela Prado Karton, que apesar de diferentes possuem uma certa semelhança.

Para as variáveis referidas é desenvolvido um estudo ao nível da Estatística Descritiva, com o objetivo de organizar, sintetizar e analisar os dados das amostras obtidas, de modo a retirar algumas ilações sobre o comportamento na população.

Todavia, uma das maiores vantagens das técnicas estatísticas é o seu poder de inferência, sendo por isso utilizada a inferência estatística. Esta permite através do estudo de uma amostra representativa, com um determinado grau de probabilidade, que conheçamos com razoável precisão toda a população, verificando previamente a normalidade das variáveis.

5.1. Análise Descritiva

As observações que constituem as amostras foram obtidas no laboratório da empresa, durante o estágio em questão, encontrando-se esses valores expressos em tabelas no Anexo . O ensaio de rigidez executado seguiu o método para a determinação da rigidez, anteriormente explicado, e foi realizado durante dois meses, a fim de acompanhar a evolução da rigidez ao longo do tempo. Os dados obtidos para a rigidez destinam-se à averiguação do controlo de qualidade do produto final, referentes a três tipos de papel: SPM, SPM-F e SPP, estando as suas especificações explícitas no Anexo , em forma de tabela.

Para caracterizar as amostras foram calculadas algumas medidas descritivas, nomeadamente medidas de tendência central (média, mediana e moda), medidas de dispersão (desvio-padrão, coeficiente de variação e amplitude total) e medidas de forma (coeficientes de assimetria e achatamento) de forma a tirar algumas conclusões sobre as variáveis em estudo.

5.1.1. Rigidez SPM

Na Tabela 5 constam os valores obtidos para algumas medidas estatísticas da variável rigidez, em ambas as direções, relativamente ao SPM com 225 g/cm².

Dos resultados obtidos da nossa amostra, com 12 observações, podemos verificar que as medidas de tendência central (média, média aparada, mediana e a moda) encontram-se concordantes com os limites de especificação estabelecidos pela empresa para este tipo de produto. No caso da média aritmética a rigidez na direção máquina é muito próxima ao valor ótimo, a direção transversal apesar de inferior ao valor ótimo, encontra-se dentro dos limites das especificações.

Em termos de dispersão de dados, apesar do coeficiente de variação ser superior na direção transversal, os valores indicam uma dispersão relativamente baixa, dado que são ambos inferiores a 50%.

As medidas de forma, das quais fazem parte o coeficiente de assimetria e de achatamento, são utilizadas para comparar a forma da distribuição empírica em estudo com a distribuição normal (ou gaussiana), distribuição teórica muito usada em Inferência Estatística. Para que uma distribuição se possa considerar aproximadamente normal, os valores dos coeficientes descritos devem ser próximos de zero, ou seja, devem estar compreendidos no intervalo de]-0,5; 0,5[. Quando os valores absolutos destes coeficientes forem superiores a 1 podemos assumir que a distribuição dos dados em causa não é normal.

Numa análise à assimetria da distribuição no caso do SPM, tanto na direção longitudinal como na transversal, os valores dos coeficientes encontram-se muito próximos de 0,5, motivo pelo qual é considerada uma distribuição aproximadamente simétrica em ambas as direções.

Quanto ao coeficiente de achatamento (ou curtose), este sintetiza o peso das caudas da distribuição, que poderão originar distribuições mais pontiagudas ou achatadas.

Assim, analisando o coeficiente de achatamento, concluímos que estamos perante uma distribuição leptocúrtica (pontiaguda) para a direção longitudinal, uma vez que o seu valor é superior a zero. Em contra partida, dado o valor negativo da direção transversal, esta é uma distribuição platocúrtica, ou seja, uma distribuição mais achatada que a distribuição normal.

Observando o histograma da Figura 60 e 61 pode avaliar-se o enquadramento gráfico face à curva de normalidade, onde as metades da esquerda e da direita devem ser idênticas. Neste sentido, concluímos que a distribuição para ambas as direções se enquadra relativamente dentro dos valores da normalidade, embora graficamente se note que uma concentração maior de valores no lado direito do gráfico.

Tabela 5 – Medidas descritivas da rigidez do papel SPM para as duas direções.

Estatística Descritiva		Rigidez SPM DM	Rigidez SPM DT
Dimensão da amostra - <i>n</i>		12	12
Média Aritmética		44,05	13,94
Média Aparada a 5%		43,98	13,88
Mediana		43,55	13,75
Moda		43,00	11,70 ^a
Desvio-Padrão		2,62	1,66
Variância		6,88	2,75
Coeficiente de Variação (%)		5,95	11,89
Coeficiente de Assimetria		0,54	0,58
Coeficiente de Achatamento		0,15	-0,23
Amplitude		9,40	5,60
Mínimo		40,00	11,70
Máximo		49,40	17,30
Percentis	25	41,98	12,63
	50	43,55	13,75
	75	46,00	15,13

a. Foram identificados dois valores para a moda e considerou-se o menor valor.

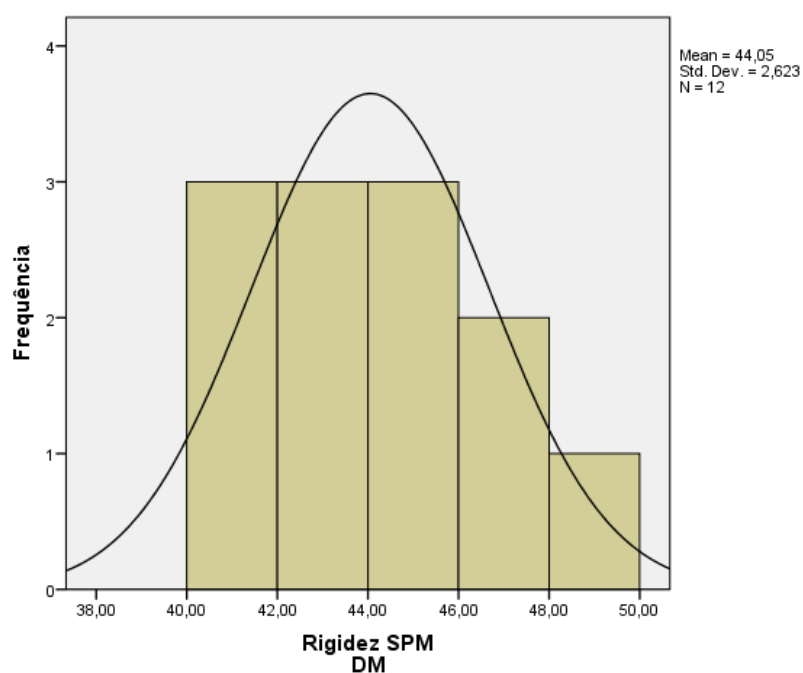


Figura 60 – Histograma da rigidez do SPM para a direção longitudinal.

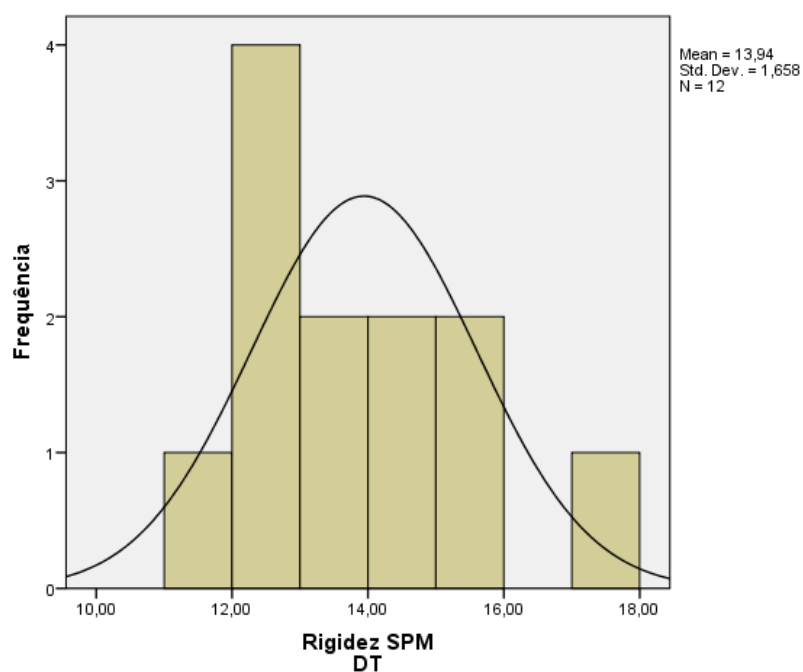


Figura 61 – Histograma da rigidez do SPM para a direção transversal.

5.1.2. Rigidez SPM-F

A Tabela 6 apresenta os valores obtidos para algumas medidas estatísticas da variável rigidez, em ambas as direções, relativamente ao SPM-F com 225 g/cm².

Dos resultados obtidos da nossa amostra com 18 observações podemos verificar que as medidas de tendência central estão dentro dos limites de especificação estabelecidos para este tipo de cartão.

Em termos de dispersão de dados, apesar do coeficiente de variação ser superior na direção transversal, os valores indicam uma dispersão relativamente baixa, visto os valores serem muito inferiores a 50%.

Relativamente à assimetria da distribuição, esta assume-se aproximadamente simétrica em ambas as direções, pois está dentro ou muito próxima dos limites para o efeito.

Analisando o coeficiente de achatamento para a direção longitudinal, este é inferior a zero, o que nos diz que estamos perante uma distribuição platocúrtica. Já a direção transversal apresenta um valor positivo, sendo por isso uma distribuição leptocúrtica.

Observando o histograma da Figura 62 observamos que a distribuição talvez se possa considerar aproximadamente normal. Quanto ao gráfico da Figura 63, também este poderá indicar que estamos perante uma distribuição aproximadamente normal, porém há que realçar, que os valores tendem a concentrar-se mais no lado direito do gráfico.

Tabela 6 – Medidas descritivas da rigidez do papel SPM-F para as duas direções.

Estatística Descritiva		Rigidez SPM-F DM	Rigidez SPM-F DT
Dimensão da amostra – n		18	18
Média Aritmética		48,86	19,41
Média Aparada a 5%		48,94	19,36
Mediana		49,05	19,60
Moda		51,70	19,60
Desvio-Padrão		2,56	1,76
Variância		6,53	3,10
Coeficiente de Variação (%)		5,23	9,07
Coeficiente de Assimetria		-0,52	0,26
Coeficiente de Achatamento		-0,74	0,25
Amplitude		8,30	6,70
Mínimo		44,00	16,50
Máximo		52,30	23,20
Percentis	25	47,43	18,10
	50	49,05	19,60
	75	51,23	20,13

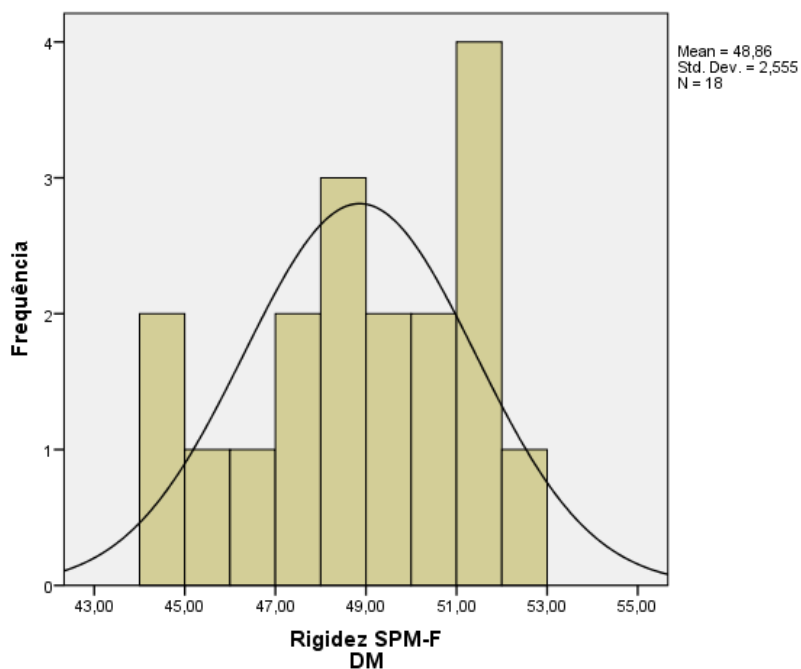


Figura 62 – Histograma da rigidez do SPM-F para a direção longitudinal.

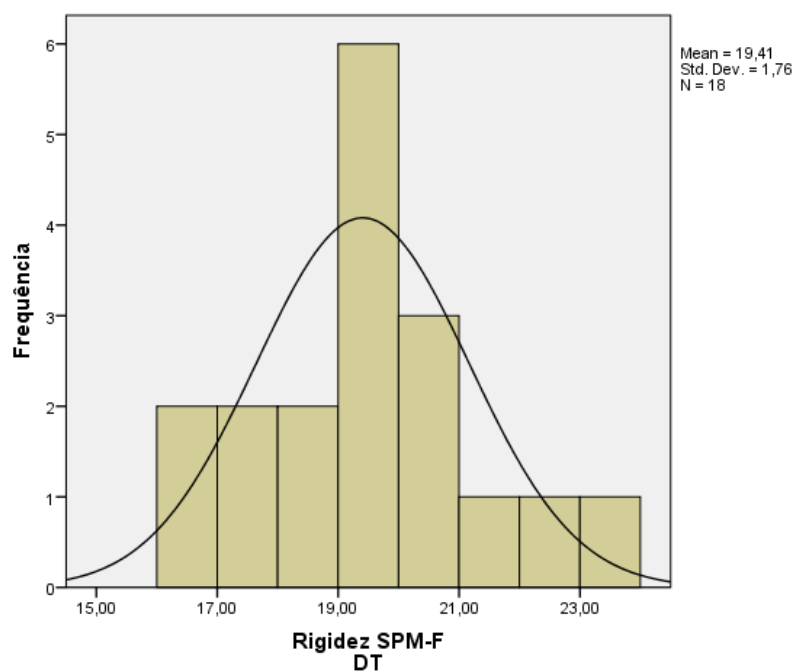


Figura 63 – Histograma da rigidez do SPM-F para a direção transversal.

5.1.3. Rigidez SPP

A Tabela 7 exibe os valores obtidos para algumas medidas estatísticas da variável rigidez, em ambas as direções, relativamente ao SPP com 300 g/cm^2 .

Dos resultados obtidos da nossa amostra com 24 observações podemos verificar que as medidas de tendência central são superiores aos valores previamente estabelecidos para este tipo de cartão.

Em termos de dispersão dos dados, apesar do coeficiente de variação ser superior na direção transversal, os valores indicam uma dispersão relativamente baixa, pois também neste caso são inferiores a 50%.

Relativamente à assimetria da distribuição, esta assume-se aproximadamente simétrica em ambas as direções, pois está dentro ou muito próxima dos limites para o efeito.

Analisando o coeficiente de achatamento para a direção longitudinal, este é superior a zero, o que nos indica que estamos perante uma distribuição leptocúrtica. Já a direção transversal apresenta um valor negativo, sendo por isso uma distribuição platocúrtica.

Observando o histograma da Figura 64 e 65 verificamos que a distribuição talvez se possa considerar aproximadamente normal, tanto para a direção longitudinal como para a transversal. No caso da direção longitudinal, existe uma tendência de acumulação de valores do lado direito do gráfico.

Tabela 7 – Medidas descritivas da rigidez do papel SPM-F para as duas direções.

Estatística Descritiva		Rigidez SPP DM	Rigidez SPP DT
Dimensão da amostra - n		24	24
Média Aritmética		124,59	39,07
Média Aparada a 5%		124,31	39,08
Mediana		125,10	39,60
Moda		117,50 ^a	38,40 ^a
Desvio-Padrão		6,36	3,32
Variância		40,41	11,03
Coeficiente de Variação (%)		5,10	8,50
Coeficiente de Assimetria		0,57	-0,32
Coeficiente de Achatamento		0,17	-0,25
Amplitude		25,80	13,10
Mínimo		114,30	32,60
Máximo		140,10	45,70
Percentis	25	118,85	36,93
	50	125,10	39,60
	75	128,05	41,35

a. Foram identificados dois valores para a moda e considerou-se o menor valor.

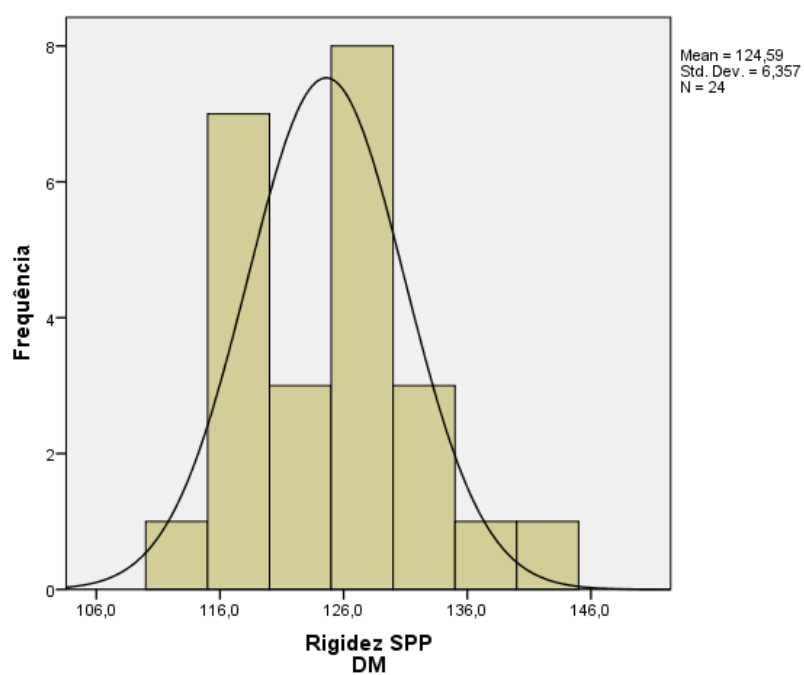


Figura 64 – Histograma da rigidez do SPP para a direção longitudinal.

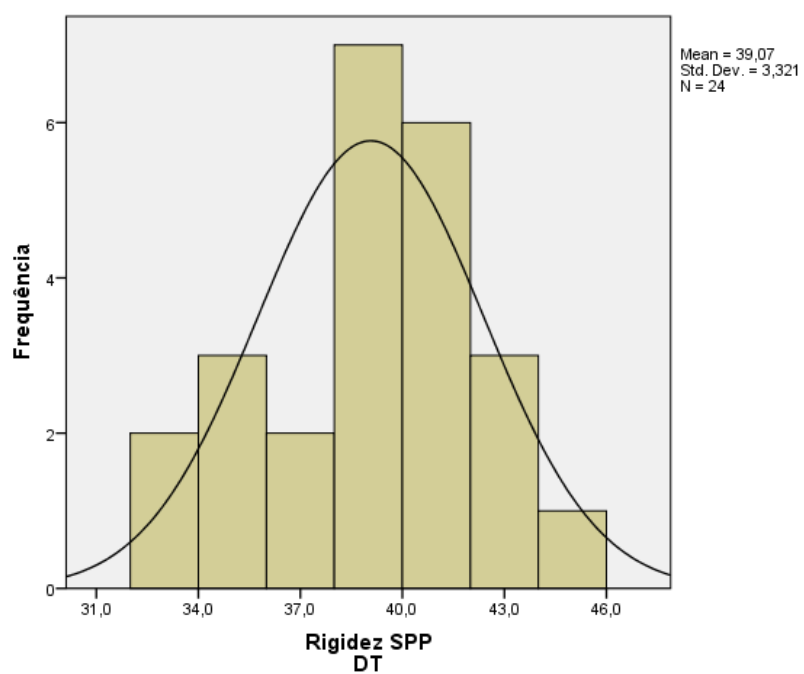


Figura 65 – Histograma da rigidez do SPP para a direção transversal.

5.2. Análise Inferencial

A estatística inferencial tem como objetivo estudar generalizações sobre uma população através de evidências fornecidas por uma amostra retirada desta população. Este domínio da estatística executa a extrapolação dos resultados, obtidos anteriormente com a estatística descritiva, para a população, e recorre a testes de hipóteses. Entre os testes de hipóteses para amostras independentes, o que se mostrou mais adequado foi o teste de *Shapiro-Wilk*, que analisa se as amostras, com menos de 50 observações, são provenientes de populações com distribuição aproximadamente normal.

Construíram-se, ainda, cartas de controlo estatístico de qualidade, para a média, de cada tipo de cartão, com o intuito de avaliar o comportamento das variáveis.

5.2.1. Teste de *Shapiro-Wilk*

Para verificar a normalidade das variáveis em estudo o SPSS produz o teste de *Kolmogorov-Sminov* (K-S), e, no caso de se dispor de menos de 50 observações, o teste de *Shapiro-Wilk*. Estes testes realizaram-se para um nível de significância (α) de 5% e pretendem testar as seguintes hipóteses:

Hipótese nula (H_0): a distribuição das variáveis rigidez ou brancura aproxima-se da normalidade.

Hipótese alternativa (H_1): a distribuição das variáveis rigidez ou brancura é significativamente diferente da distribuição normal.

Em representação matemática:

$$H_0: X_i \sim N(\mu; \sigma) \text{ versus } H_1: X_i \not\sim N(\mu; \sigma) \quad i = \text{rigidez; brancura.} \quad (6)$$

O *output* do SPSS fornece o valor de prova ou a probabilidade de significância (*p-value* ou *sig.*) para os dois testes referidos anteriormente. Este valor pode ser interpretado como a medida do grau de concordância entre os dados e a hipótese nula (H_0), que corresponde à distribuição normal. Deste modo, quanto menor for o *p-value*, menor será a consistência entre os dados e a hipótese nula, ou seja, a significância. Então, a regra de

decisão adotada para determinar se a distribuição é ou não aproximadamente normal é rejeitar H_0 se $p\text{-value} \leq 0,05$, sendo válida a hipótese alternativa H_1 .

Na Tabela 8 constam os valores da estatística do teste, a dimensão da amostra e os $p\text{-value}$, apenas para o teste de normalidade *Shapiro-Wilk*, dado que se dispõe em todos os tipos de cartão de menos de 50 observações para a variável rigidez.

Analisando os resultados, não se rejeita a hipótese nula da normalidade, da variável rigidez, ou seja, todas seguem uma distribuição aproximadamente normal, visto o $p\text{-value}$ ser superior a 0,05 para todos os tipos de cartão em ambas as direções.

Tabela 8 –Teste de *Shapiro-Wilk* para a rigidez dos três tipos de papel (SPM, SPM-F e SPP).

		<i>Shapiro-Wilk</i>		
		Estatística do teste	Dimensão da Amostra	p-value
SPM	DM	0,975	12	0,957
	DT	0,953		0,682
SPM-F	DM	0,933	18	0,223
	DT	0,958		0,568
SPP	DM	0,963	24	0,496
	DT	0,972		0,725

5.2.2. Cartas de Controlo de Qualidade

As cartas de controlo são um tipo de gráfico utilizado para controlar estatisticamente um processo. O objetivo destes gráficos é verificar se o processo se encontra sobre controlo ao longo do tempo, ou seja, se os dados verificam um determinado conjunto de regras.

As referidas cartas de controlo de qualidade são uma técnica comprovada para a melhoria da produtividade, sendo eficazes na prevenção de defeitos e, consequentemente, no aumento da produtividade, originando um menor custo do produto, pois num processo controlado o produto pode ser “produzido bem à primeira”. Para além disso, fornecem informações valiosas sobre o produto ao longo do tempo, permitindo estimar a capacidade do processo atendendo às especificações impostas.

Entre os vários tipos de cartas de controlo que existem, as cartas de controlo do tipo X – AM, Individual e Amplitude Móvel, mostraram-se as mais apropriadas para a medição da rigidez, visto possuímos medições individuais, ou seja, cada observação representa apenas um valor único. Neste caso, a estimativa da variabilidade é realizada através da amplitude móvel de observações sucessivas.

Estas cartas foram obtidas no *software* SPSS, que produz como *output* um par de cartas para os valores individualizados e para a amplitude média (*Individual and Moving Range Charts*), que são utilizadas para monitorizar as variáveis em estudo.

O primeiro gráfico a ser representado é o dos valores individuais que representa as observações em torno da sua média. O segundo gráfico diz respeito à amplitude, isto é, a diferença entre cada observação imediatamente anterior.

Para a realização dos gráficos anteriormente referidos é necessário obter a média das observações individuais, para cada variável em estudo, através da seguinte equação:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (7)$$

Além da média determina-se a diferença absoluta entre duas observações consecutivas, que mede a dispersão em termos de amplitude de duas amostras consecutivas:

$$MR = |x_i - x_{i-1}| \quad i = 2, \dots, n. \quad (8)$$

Posteriormente calcula-se a média aritmética desses valores através de:

$$\overline{MR} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n MR_i. \quad (9)$$

Torna-se assim evidente a necessidade de encontrar o valor do limite superior de controlo (LSC), a linha central (LC) e o limite inferior de controlo (LIC), dados pelas equações 10, 11 e 12, respetivamente, que são uma combinação das equações 7 e 9, considerando sigma igual a 3.

$$LSC = \bar{x} + \frac{3}{d2} \times \overline{MR}, \quad (10)$$

$$LC = \bar{x}, \quad (11)$$

$$LIC = \bar{x} - \frac{3}{d2} \times \overline{MR}. \quad (12)$$

Para a carta de amplitudes móveis, os limites são determinados através das equações 13, 14 e 15.

$$LSC = D4 \times \overline{MR}, \quad (13)$$

$$LC = \overline{MR}, \quad (14)$$

$$LIC = D3 \times \overline{MR}. \quad (15)$$

Onde, $d2 = 1,128$; $D3 = 0$ e $D4 = 3,267$, são constantes que podemos encontrar, por exemplo, em Montgomery, 2000.

Para além dos referidos limites, foram ainda considerados os limites de especificação associados a cada tipo de cartão, encontrando-se estes na Tabela 9, onde LIE representa o Limite Inferior de Especificação e LSE é o Limite Superior de Especificação:

Tabela 9 – Valores dos Limites de Especificação (gf.cm) para os três tipos de cartão (SPM, SPM-F e SPP).

		LIE	LSE
SPM	DM	37	50
	DT	13	18
SPM-F	DM	57	77
	DT	19	25
SPP	DM	87	117
	DT	26	35

Considera-se que um processo está fora de controlo estatístico quando incumpre uma das seguintes regras:

Regra 1 – um qualquer ponto fora dos limites de controlo;

Regra 2 – dois de três pontos consecutivos fora dos limites de aviso (2σ) do mesmo lado da linha central;

Regra 3 – quatro de cinco pontos consecutivos fora dos limites (1σ) do mesmo lado da linha central;

Regra 4 – nove pontos consecutivos do mesmo lado da linha central;

Regra 5 – seis pontos consecutivos que apresentam uma tendência crescente ou decrescente.

As cartas de controlo de qualidade de valores individuais e de amplitude móvel, realizadas no SPSS, para a rigidez dos três tipos de cartão e respetivas direções encontram-se nos gráficos seguintes, da Figura 66 à 77.

Analisando o caso do SPM, verifica-se que para ambas as direções não se encontram incumprimentos, quer para as cartas de controlo de valores individuais (Figura 66 e 68), quer para as cartas de controlo da média móvel (Figura 67 e 69), o que nos indica que a totalidade das observações se encontra dentro dos limites superior e inferior de controlo. Porém, no caso da direção transversal, esta apresenta as observações 1,3,4,6,8 fora dos limites de especificação estabelecidos, o que nos indica que nas primeiras horas após o fabrico do cartão SPM a rigidez na direção transversal ainda não atingiu o valor mínimo pré-estabelecido.

Há, ainda, que realçar o fato de existir uma tendência perfeitamente visível de aumento do valor da rigidez em ambas as direções, o que nos leva a concluir que a rigidez aumenta ao longo do tempo. A razão para haver aumentos e descidas do valor da rigidez, originando em alguns casos amplitudes consideráveis, pode dever-se à zona de onde a amostra é retirada, pois esta é proveniente de uma amostra retirada ao longo de toda a largura da bobina.

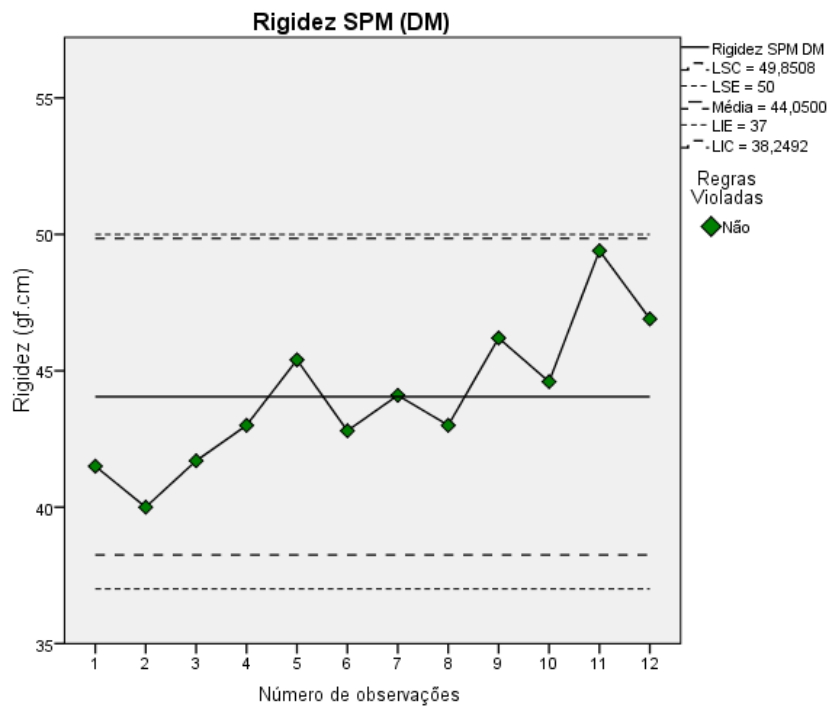


Figura 66 – Carta de controle de qualidade de valores individuais da rigidez do SPM para a direção longitudinal.

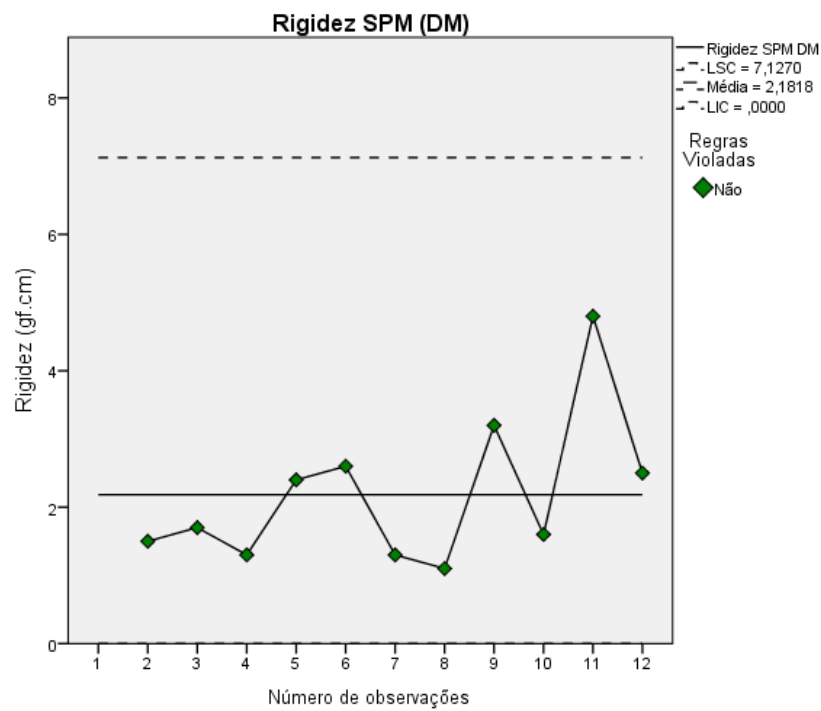


Figura 67 – Carta da amplitude móvel para a rigidez do SPM na direção longitudinal.

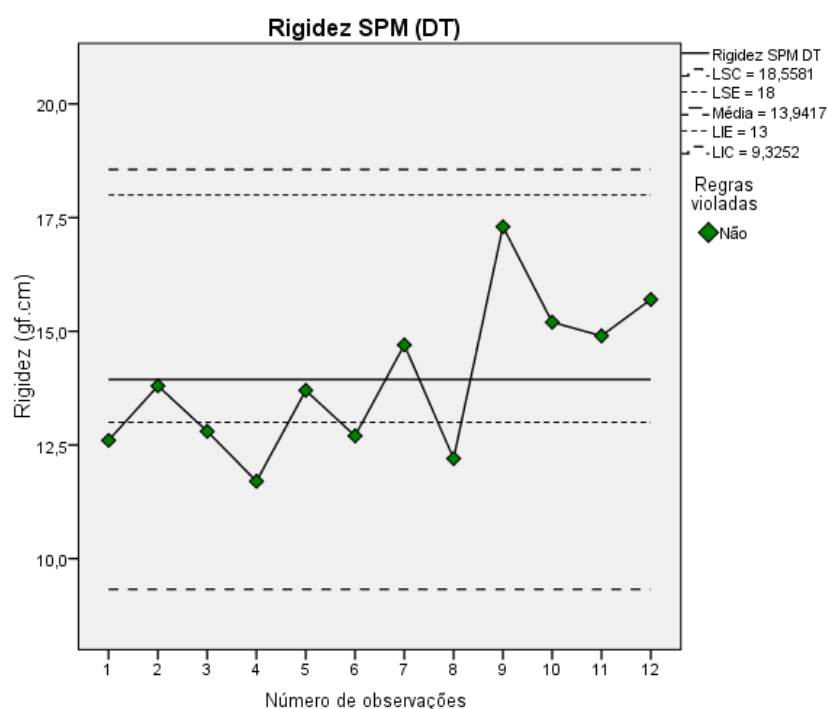


Figura 68 – Carta de controle de qualidade de valores individuais da rigidez do SPM para a direção transversal.

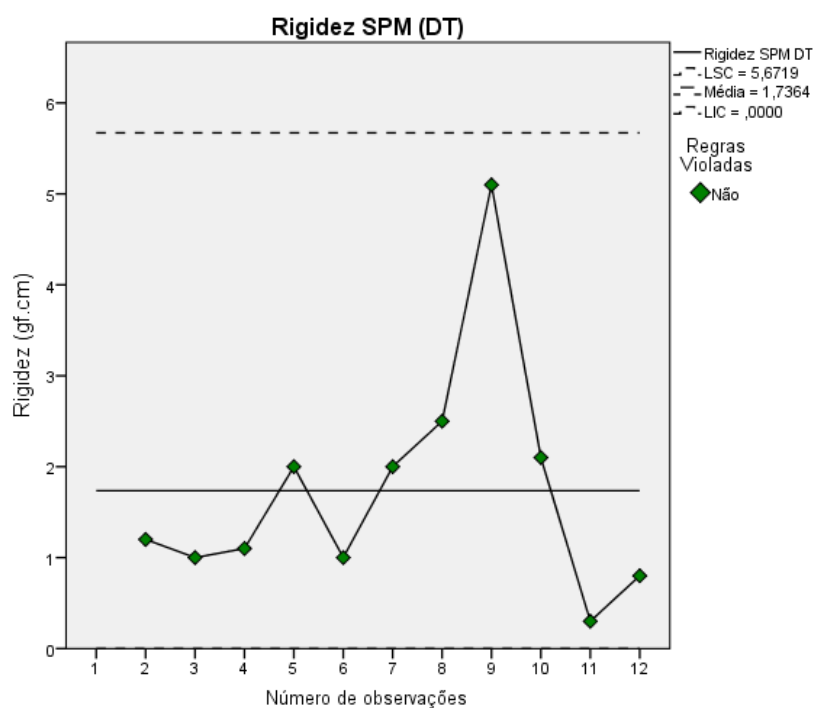


Figura 69 – Carta da amplitude móvel para a rigidez do SPM na direção transversal.

Ao observar as cartas de controlo de qualidade para o SPM-F, concluímos que neste caso existem incumprimentos às regras na Figura 70 e 71.

No caso da direção longitudinal na carta de controlo de valores individuais, Figura 70, verificamos o incumprimento para a observação 2, uma vez que se encontra dois pontos dos últimos três abaixo de 2 sigma, representando sigma o desvio-padrão. Há também a reter que as últimas sete observações se encontram, todas elas acima da média e, para além disso, observamos uma tendência de estabilidade do valor. Na carta de amplitude móvel, Figura 71, não existem regras violadas mas há que referir a existência de algumas amplitudes consideráveis no processo.

A direção longitudinal, quanto aos limites especificados, apresenta todos os valores abaixo destes, representando portanto uma situação invulgar, motivo pelo qual devem ser revistos os limites ou aferidas possíveis causas que originam esta situação.

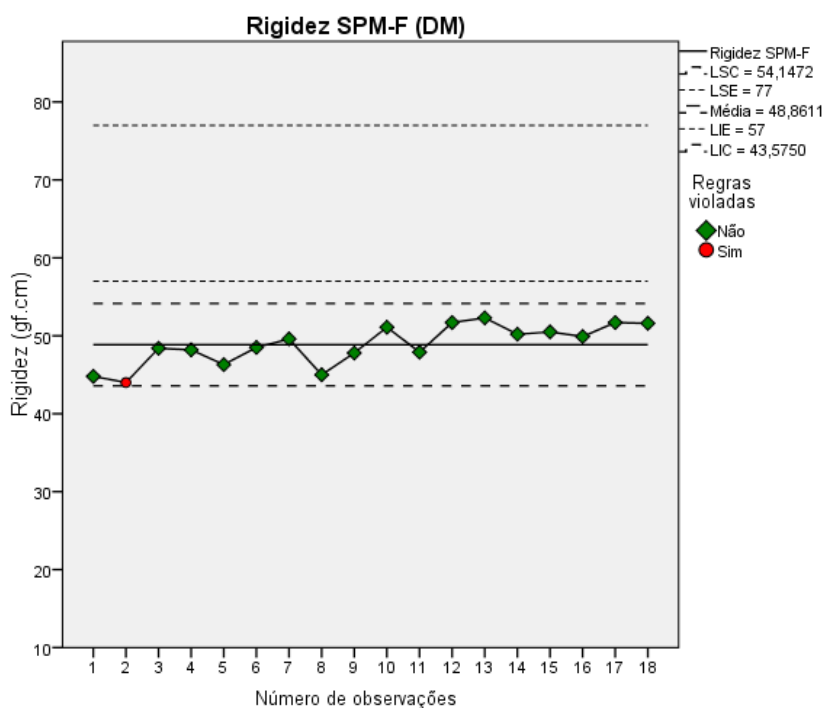


Figura 70 – Carta de controlo de qualidade de valores individuais da rigidez do SPM-F para a direção longitudinal.

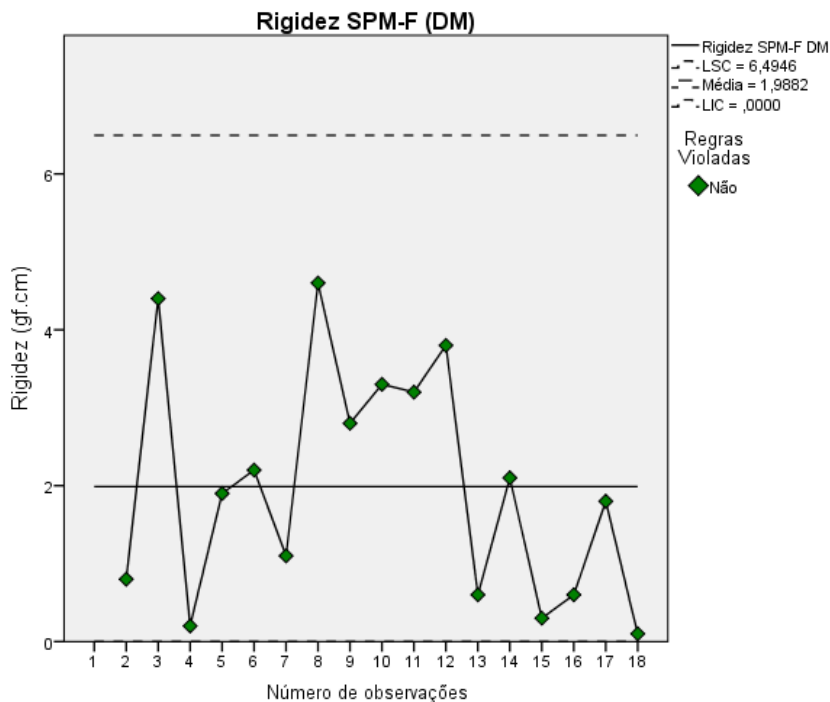


Figura 71 – Carta da amplitude móvel para a rigidez do SPM-F na direção longitudinal.

Quanto à direção transversal, à semelhança da longitudinal, também esta apresenta incumprimento na carta de controlo de valores individuais (Figura 72) e, apesar das amplitudes observadas, a carta da amplitude móvel apresenta um comportamento relativamente estável.

A Figura 72 apresenta duas regras violadas, as observações 12 e 18. A observação 12 encontra-se dois pontos dos três últimos abaixo de 2 sigma, enquanto a observação 18 para além de se encontrar fora acima do limite superior de controlo, também se encontra dois pontos dos últimos três acima de 2 sigma. No entanto, há que examinar a Figura 72 e reter que há exceção de três pontos, todos os outros contribuem para o aumento da rigidez ao longo do tempo e, apesar de a última observação estar fora do limite de controlo, é um sinal de que a rigidez aumenta significativamente após o fabrico do cartão.

Relativamente à direção transversal, esta também apresenta valores abaixo dos limites especificados, são eles as observações 1,2,5,11,12 e 13, no entanto, neste caso a rigidez, excetuando os momentos iniciais de fabrico, apresenta um aumento progressivo terminando com a observação 18 acima do limite superior de especificação.

Visualizando a Figura 73, além da variação das amplitudes referidas antes, de notar que nas duas últimas observações estas apresentam uma amplitude praticamente igual, o que significa que o grau de aumento da rigidez foi sensivelmente o mesmo.

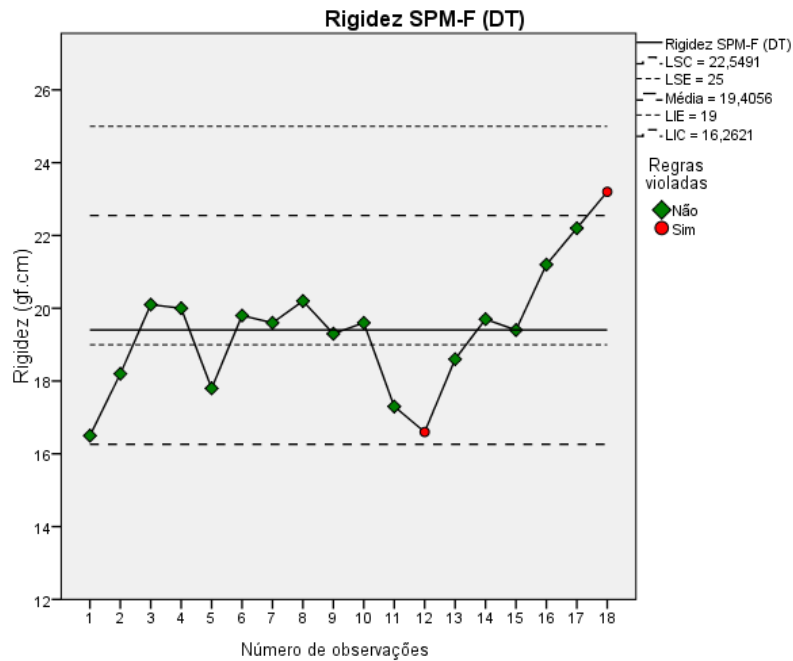


Figura 72 – Carta de controle de qualidade de valores individuais da rigidez do SPM-F para a direção transversal.

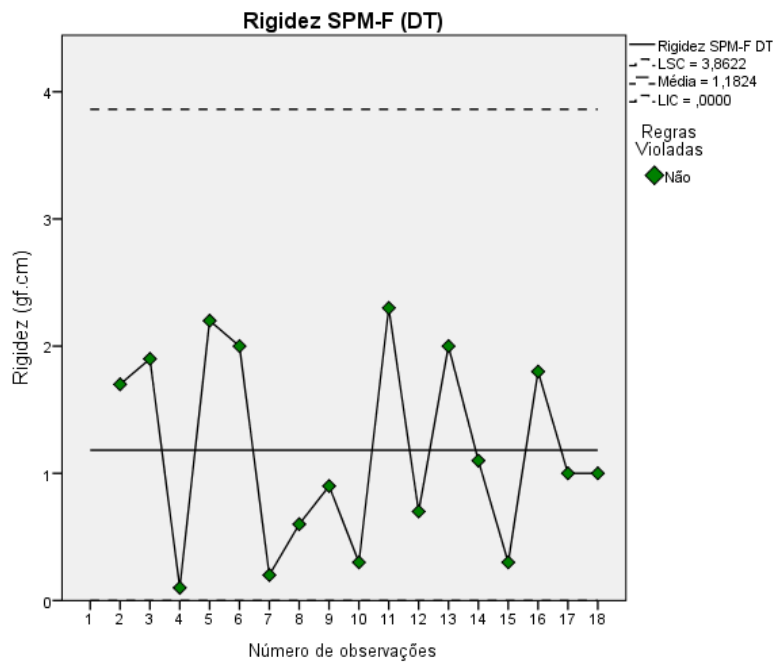


Figura 73 – Carta da amplitude móvel para a rigidez do SPM-F na direção transversal.

No caso da direção longitudinal na carta de controle de valores individuais do SPP representada na Figura 74, verificamos o incumprimento para a observação 23, uma vez que se encontra dois pontos dos últimos três acima de 2 sigma. No geral, neste caso, os valores encontram-se na sua maioria próximos da linha central, a média, o que poderá indicar que apesar do aumento do valor de rigidez este não tem tendência a afastar-se muito do valor central.

Na carta de amplitude móvel, Figura 75, não existem regras violadas, mas há que referir, ainda a assim, a existência de amplitudes consideráveis no processo.

Ao verificar as observações da rigidez do cartão SPP apuramos que, para ambas as direções, de uma forma geral estas se encontram acima dos limites de especificação para este cartão, sendo portanto um indício que os limites pré-estabelecidos para este novo produto que ainda se encontra em desenvolvimento devem ser revistos.

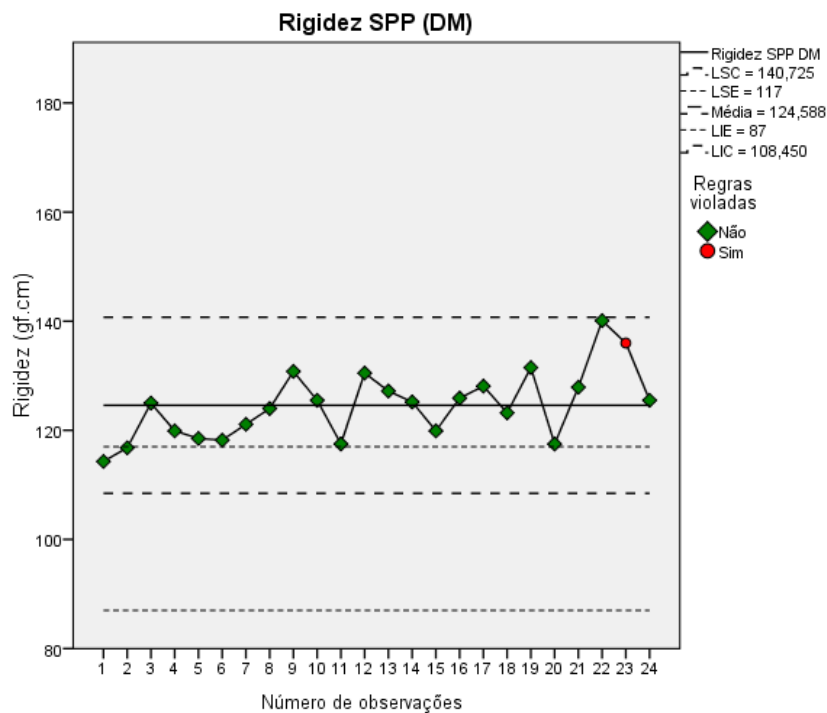


Figura 74 – Carta de controle de qualidade de valores individuais da rigidez do SPP para a direção longitudinal.

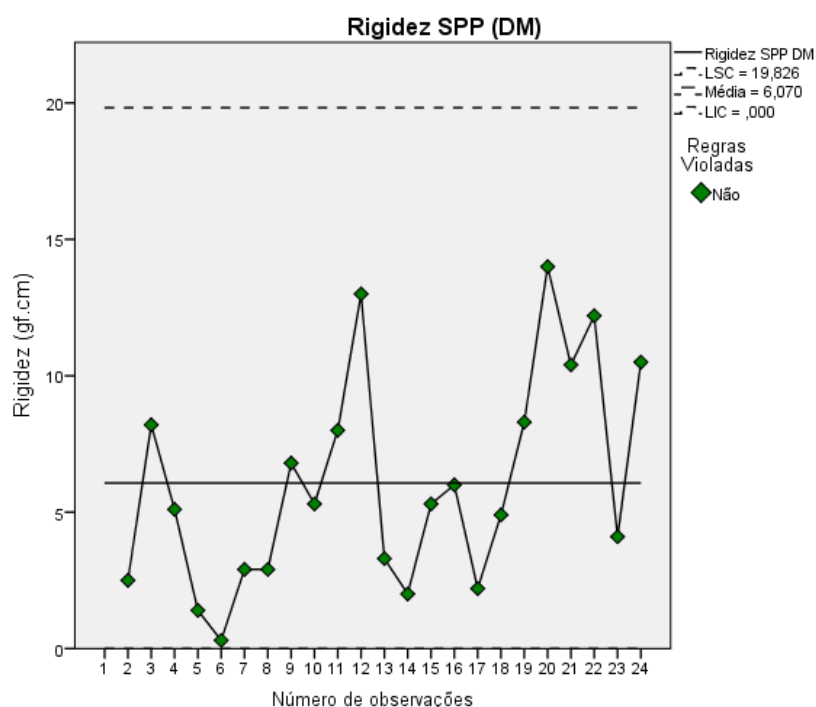


Figura 75 – Carta da amplitude móvel para a rigidez do SPP na direção longitudinal.

A direção transversal do SPP é a que apresenta o maior número de incumprimentos na carta de controlo de valores individuais e, apesar das amplitudes observadas, a carta da amplitude móvel não viola nenhuma das regras.

A Figura 76 apresenta sete regras violadas na carta de controlo de qualidade para valores individuais. A observação 1 encontra-se abaixo do limite de controlo inferior. A observação 5 está quatro dos últimos cinco pontos abaixo de 1 sigma. As observações desde a 20 até à 24 encontram-se em incumprimento porque existem mais de oito pontos consecutivos acima da linha central, mais precisamente desde a observação 13 até à 24. Para além disso, as observações 22 e 23 também se encontram quatro dos últimos cinco pontos acima de 1 sigma. A observação 23 encontra-se, ainda, dois pontos dos últimos três acima de 2 sigma e fora do limite superior de controlo. Com esta análise à que concluir que a rigidez tende a aumentar ao longo do tempo e encontra-se, consecutivamente, acima da média prevista em metade das observações realizadas.

Quanto à carta de amplitude móvel, ilustrada na Figura 77, esta demonstra a variação do aumento e diminuição das amplitudes, sendo este o caso mais díspar.

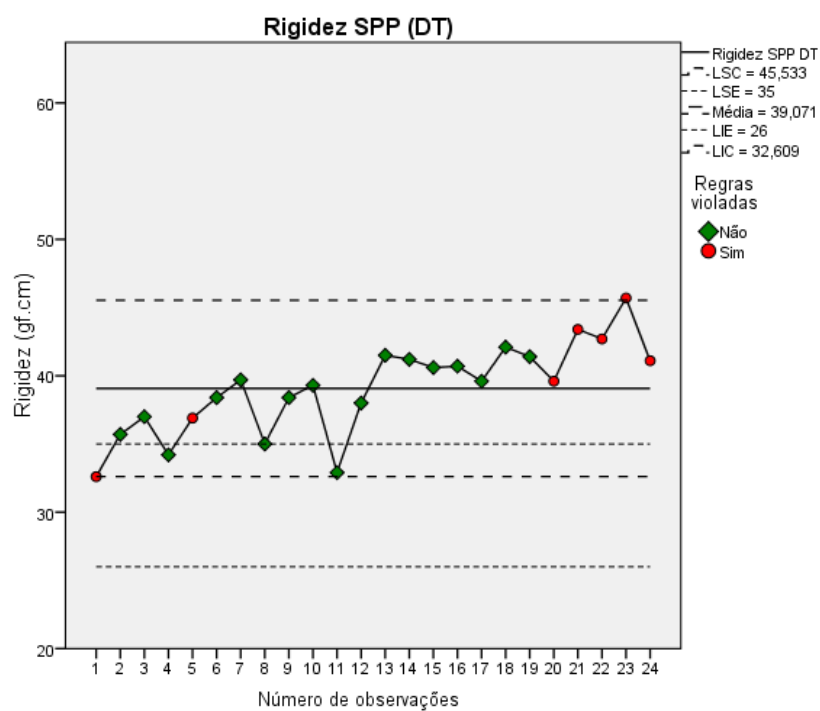


Figura 76 – Carta de controle de qualidade de valores individuais da rigidez do SPP para a direção transversal.

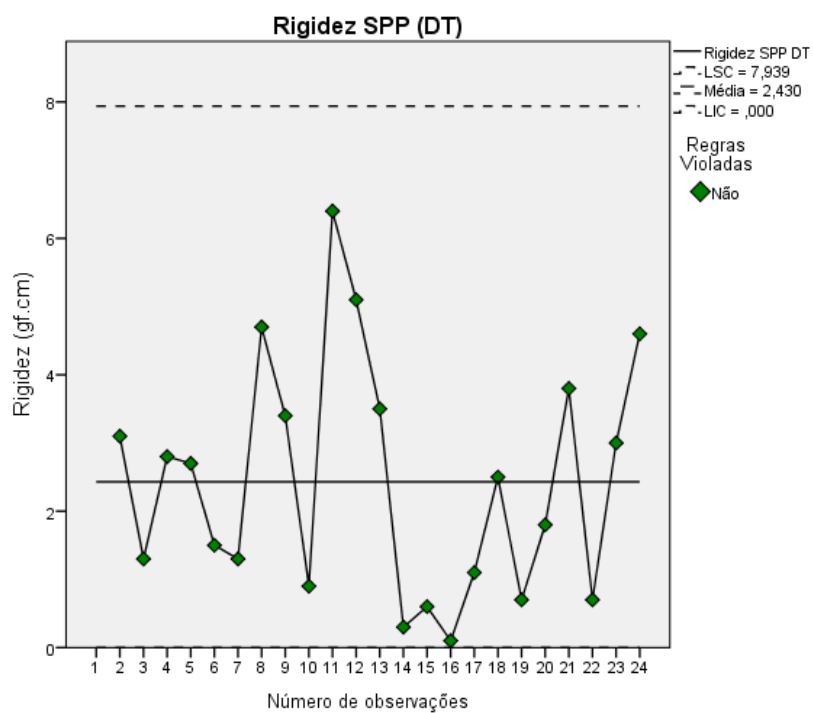


Figura 77 – Carta da amplitude móvel para a rigidez do SPP na direção transversal.

Em suma, de todas as observações realizadas apenas três delas se encontram efetivamente fora dos limites de controle, sendo que dessas somente uma está fora do limite inferior, enquanto as restantes duas se encontram fora do limite superior. No entanto, as observações em relação ao limite superior e inferior de especificação apresentam vários desvios, sendo crucial uma averiguação no caso SPM-F, onde existem várias observações abaixo do limite inferior. Relativamente ao SPP, como referido anteriormente, este é um produto ainda em estudo, podendo as suas características sofrer alterações até à obtenção do produto final, onde se pode fazer uso das cartas de controle aqui apresentadas para adequar o melhor possível os seus limites de especificação.

Esta análise leva-nos a concluir que apesar de as amostras apresentarem uma distribuição aproximadamente normal e não violarem frequentemente as regras para três sigma, elas não se encontram, em alguns casos, dentro dos limites de especificação estabelecidos pela empresa. No entanto, excetuando o caso do SPM-F (DM), os valores de rigidez após os momentos iniciais de fabrico encontram-se acima da média, sendo visível o seu ao longo do tempo (através do aumento do número da observação). A variação das amplitudes deve-se sobretudo ao fato de apesar dos provetes usados para analisar a rigidez serem provenientes da mesma amostra, esta é uma amostra de toda a largura da bobina, havendo portanto provetes do lado de condução, do meio e do lado da transmissão, podendo esse fato condicionar os valores obtidos.

6. Considerações Finais

O papel tornou-se parte integral do desenvolvimento da nossa cultura, tanto como meio de comunicação como de embalagem e foi neste sentido que nasceu a Prado Karton.

O estágio consistiu no conhecimento quotidiano do funcionamento de uma fábrica de papel, passando pelas diversas áreas associadas a este, onde me foi dada a oportunidade de interagir diretamente com o processo em si.

Assim, após a descrição geral de todo o processo de produção de cartão da Prado Karton, conclui-se que todas as etapas são de extrema importância para a obtenção de um produto de excelência, visto que existem diversos fatores que podem alterar a qualidade do cartão, desde o tipo de pasta, à refinação aplicada, passando pelos processos de redução da quantidade de água, até ao embalamento do produto, não esquecendo a própria humidade do ar.

Numa segunda fase foi realizado um estudo estatístico que consistiu em analisar a variável rigidez de três tipos de cartão diferentes (SPM, SPM-F e SPP). Numa análise exploratória aos dados foi possível constatar que todos eles seguem uma distribuição aproximadamente normal através dos histogramas, sendo esta análise confirmada com o teste à normalidade realizado posteriormente, na análise inferencial.

As cartas de controlo de qualidade permitiram verificar que o comportamento da rigidez era o esperado teoricamente para os limites de controlo, existindo apenas pontuais observações que violam as regras estabelecidas para as cartas de valores individuais, enquanto as cartas das amplitudes móveis figuram sem nenhuma regra violada. Contudo, considerando os limites de especificação da empresa para os produtos em estudo, encontrámos vários casos de incumprimento, apesar disso, em todos os tipos de cartão e direções verificou-se um aumento significativo da rigidez ao longo do tempo. No entanto, como em todos os processos produtivos, independentemente da sua cuidadosa execução, há sempre variabilidade da característica a avaliar, sendo normalmente fatores extrínsecos ao método de ensaio, nem sempre fáceis de identificar, que influenciam a oscilação das amplitudes observadas nas cartas de amplitude móvel.

Por fim, considera-se que a constante monitorização do método de ensaio estudado através de técnicas da análise estatística dos dados obtidos é útil e interessante, sob o ponto de vista de permitir uma rápida identificação de irregularidades e, eventual, intervenção e

correção, reduzindo os custos, originando maior produtividade para a empresa e mais qualidade do produto final.

7. Referências Bibliográficas

- Abrantes, L. F. (2011). *A operação da depuração na produção do papel*. Covilhã: Universidade da Beira Interior.
- Alves, J. F. (2000). *A estruturação de um sector industrial - a pasta de papel*. Porto: Revista da Faculdade de Letras - História.
- Andrade, A. S. (2006). *Qualidade da Madeira, Celulose e Papel em Pinus taeda L.: Influência da Idade e Classe de Produtividade*. Curitiba: UFP.
- Bajpai, P. (2012). *Biotechnology for Pulp and Paper Processing*. Springer.
- Barrichelo, L., & Brito, J. (1979). A utilização da madeira na produção de celulose. (IEPF, Ed.) *Circular Técnica*, 68.
- Biermann, C. J. (1996). *Handbook of Pulping and Papermaking*. London: Academic Press.
- Canavarro, J. M. (1985). *Tecnologia do Papel e Cartão Canelado*. Lisboa: Oditécnica.
- Carvalho, M. d. (1999). *Efeito das Variáveis de Cozimento nas Características Químicas de Pastas Kraft de Eucalyptus globulus*. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- CELPA. (2012). *Boletim Estatístico 2012 - Indústria Papeleira Portuguesa*. Lisboa: CELPA.
- CELPA. (2014). *Boletim Estatístico 2013 - Indústria Papeleira Portuguesa*. Lisboa: CELPA.
- CEPI. (2014). *Key Statistics 2013 - European Pulp and Paper Industry*. Bruchelas: CEPI.
- Correia, M. H. (2004). *Optimização na Indústria do Papel*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- EPA. (2010). *Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from the Pulp and Paper Manufacturing Industry*. North Carolina: Office of Air and Radiation.
- FACM: *Museu do Papel Moeda: Exposição de Papel Moeda: Papel Selado*. (s.d.). Obtido em 07 de 10 de 2014, de Fundação Dr António Cupertino de Miranda:
<http://www.facm.pt/facm/facm/pt/museu-papel-moeda/Exposicao-de-Papel-moeda/Papel-Selado>
- Ferreira, P. J. (2000). *Estudos de Pastas Kraft de Eucalyptus globulus: Características Estruturais e Aptidão Papeleira*. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Gouveia, M. M. (2001). *Pasta e Papel em Portugal - Perspectivas do Sector*. Lisboa: GEPE.
- INE. (2014). *Estatísticas do Comércio Internacional 2013*. Lisboa: INE.
- IPT. (1988). *Celulose e Papel - Tecnologia de Fabricação de Pasta e Celulose* (2ª ed., Vol. II). São Paulo.

- Maciel, M. (2008). *Sustentabilidade Energética Industrial*. Minas Gerais - Brasil.
- Mikhnya, N. M. (2011). *Análise das Exportações Portuguesas de Pasta e Papel no Contexto da União Europeia*. Mestrado em Finanças, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Economia e Gestão, Lisboa.
- Montgomery, D. (2000). *Introduction to Statistical Quality Control* (4^o ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Navarro, R. M., Navarro, F. M., & Tambourgi, E. B. (2007). *Estudo de diferentes processos de obtenção da pasta celulósica para fabricação de papel* (Vol. I). Revista Ciência & Tecnologia.
- Portal da Empresa. (s.d.). *Qualidade e Certificação*. Obtido em 11 de 08 de 2014, de Portal da Empresa: http://www.portaldaempresa.pt/CVE/pt/Gestao/Qualidade_Certificacao/
- Portugal, B. d. (2014). *Boletim Económico - Junho 2014*. Lisboa: Departamento de Estudos Económicos.
- Portugal, B. d. (2014). *Relatório do Conselho de Administração - A Economia Portuguesa*. Lisboa: Departamento de Estudos Económicos.
- Prado Karton. (2011). *Manual de Acolhimento*. Direção de Recursos Humanos.
- Prado Karton. (2014). *Manual de Gestão do Sistema Integrado*. Tomar: 03/2012.
- Prado Karton. (s.d.). *Prado Karton/Empresa/Apresentação*. Obtido em 11 de 08 de 2014, de Prado Karton: <http://www.pradocartonboard.com/empresa/apresentacao/>
- Santos, C. C., & Falcão, L. d. (1980). *Matérias-Primas Fibrosas Utilizadas no Fabrico de Pastas para Papel*. Lisboa: EPNC - Oficinas Gráficas.
- SCA. (2010). *Produção de Papel*. Tryckeribolaget.
- Sékula, P. R. (2011). *Uso de Modelo de Referência para Melhoria do Processo de Fabricação de Papel Kraft*. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Silva, C. F. (2005). Situação Atual e Perspectivas para o Mercado Mundial de Celulose e Papel. In J. P. Tecnologia (Ed.), *38º Congresso e Exposição Internacional de Celulose e Papel*.
- Silva, M. E. (2010). *Apontamentos de Tecnologia dos Produtos Florestais*. UTAD.
- Smook, G. A. (2002). *Handbook for pulp & paper Technologists* (3^a ed.). (A. W. Publications, Ed.) Vancouver, Canadá.
- Suess, H. U. (2010). *Pulp Bleaching Today*. Gottingen: Hubert & Co.
- Tecnicepa. (2001). *Introdução aos Processos de Produção de Celulose e Papel*.

ANEXOS

Anexo 1: Tipos de cartões produzidos

Tabela I – Todos os tipos de cartão comercializados atualmente na empresa.

PRODUTO	DESCRIÇÃO	COMPOSIÇÃO	REVESTIMENTO (g/m²)
Lusobranco	Folding Verso Branco	Cobertura: Pasta Branqueada Interior: Pasta Branqueada Verso: Pasta Branqueada	30
Lusopack	Folding Verso Creme	Cobertura: Pasta Branqueada Interior: Pasta Mecânica Verso e Proteção: Pasta Branqueada	25
Pack-Kraft	Folding Verso Kraft	Cobertura: Pasta Branqueada Interior: Pasta Mecânica Verso: Pasta Kraft	25
Lusokraft	Folding Verso Kraft	Cobertura: Pasta Branqueada Interior: Pasta Kraft Verso: Pasta Kraft	30
Lusoprint	Triplex Verso Branco	Cobertura: Pasta Branqueada Interior: Papel Reciclado e Pasta Mecânica Verso e Proteção: Pasta Branqueada	30
V/B	Triplex Verso Branco	Cobertura: Apará Branca Interior: Papel Reciclado e Pasta Mecânica Verso: Pasta Branqueada	30
SPA	Triplex Verso Branco	Cobertura: Apará Branca Interior: Papel Reciclado Verso: Pasta Branqueada	30
CXA-R	Triplex Verso Branco	Cobertura: Pasta Branqueada Interior: Papel Reciclado e Pasta Mecânica Verso: Pasta Mecânica e Apará Branca	30
Lusomate	Triplex Verso Creme	Cobertura: Pasta Branqueada Interior: Papel Reciclado e Pasta Mecânica Verso: Pasta Mecânica e Apará Branca	15
Trikraft	Triplex Verso Kraft	Cobertura: Pasta Branqueada Interior: Papel Reciclado Verso: Pasta Kraft ou Apará Kraft	30

Bikraft	Duplex Verso Kraft	Cobertura: Pasta Kraft Interior: Papel Reciclado Verso: Pasta Kraft	-
Lusoplex	Duplex Verso Cinza	Cobertura: Pasta Branqueada Interior: Papel Reciclado e Pasta Mecânica Verso: Papel Reciclado	30
Lusolite	Duplex Verso Cinza	Cobertura: Pasta Branqueada Interior: Papel Reciclado e Pasta Mecânica Verso: Papel Reciclado	15
SPM	Duplex Verso Cinza	Cobertura: Apara Branca Interior: Papel Reciclado Verso: Papel Reciclado	30
SPM-F	Duplex Verso Cinza	Cobertura: Pasta Branqueada Interior: Papel Reciclado Verso: Papel Reciclado	-
WLC-F	Duplex Verso Cinza	Cobertura: Pasta Branqueada Interior: Papel Reciclado e Pasta Mecânica Verso: Papel Reciclado	-
ULC	Cinza – Cinza	Cobertura: Papel Reciclado Interior: Papel Reciclado e Pasta Mecânica Verso: Papel Reciclado	-
Sokraft	Folding Kraft – Kraft	Cobertura: Pasta Kraft Interior: TMP e Pasta Mecânica Verso: Papel Kraft	-
CLA-F	Colorido	Cobertura: Pasta Branqueada Interior: Papel Reciclado e Pasta Mecânica Verso: Pasta Branqueada	-
Ecolite	Duplex Verso Cinza	Cobertura: Apara Branca Interior: Papel Reciclado Verso: Papel Reciclado	15
SPC	Triplex Verso Creme	Cobertura: Apara Branca Interior: Papel Reciclado Verso: Papel Reciclado	30

*SPP é um cartão ainda em desenvolvimento, não estando por isso ainda as suas composições definidas.

Anexo 2: Dados obtidos na medição da rigidez

Tabela II – Resultados dos ensaios de rigidez para o SPM (gf.cm).

	Tempo	SPM		Nº Obs.
		DM	DT	
Horas	0	41,5	12,6	1
	1	40,0	13,8	2
	3	41,7	12,8	3
	5	43,0	11,7	4
	6	45,4	13,7	5
	7	42,8	12,7	6
	30	44,1	14,7	7
Dias	6	43,0	12,2	8
	7	46,2	17,3	9
	14	44,6	15,2	10
Meses	1	49,4	14,9	11
	2	46,9	15,7	12

Tabela III – Resultados dos ensaios de rigidez para o SPM-F (gf.cm).

	Tempo	SPM-F		Nº Obs.
		DM	DT	
Horas	0	44,8	16,5	1
	1	44,0	18,2	2
	2	48,4	20,1	3
	4	48,2	20,0	4
	5	46,3	17,8	5
	6	48,5	19,8	6
	7	49,6	19,6	7
	22	45,0	20,2	8
	24	47,8	19,3	9
	26	51,1	19,6	10
	28	47,9	17,3	11
	29	51,7	16,6	12
	30	52,3	18,6	13
Dias	7	50,2	19,7	14
	8	50,5	19,4	15
	15	49,9	21,2	16
Meses	1	51,7	22,2	17
	2	51,6	23,2	18

Tabela IV – Resultados dos ensaios de rigidez para o SPP (gf.cm).

	Horas	SPP		Nº Obs.
		DM	DT	
Horas	0	114,3	32,6	1
	1	116,8	35,7	2
	2	125,0	37,0	3
	3	119,9	34,2	4
	4	118,5	36,9	5
	5	118,2	38,4	6
	6	121,1	39,7	7
	7	124,0	35,0	8
	23	130,8	38,4	9
	24	125,5	39,3	10
	25	117,5	32,9	11
	26	130,5	38,0	12
	27	127,2	41,5	13
	28	125,2	41,2	14
	29	119,9	40,6	15
	30	125,9	40,7	16
	31	128,1	39,6	17
	47	123,2	42,1	18
	48	131,5	41,4	19
Dias	8	117,5	39,6	20
	9	127,9	43,4	21
	16	140,1	42,7	22
Meses	1	136,0	45,7	23
	2	125,5	41,1	24